



Ríos en Riesgo de Venezuela 1

Douglas Rodríguez Olarte
Editor



Una hoja en la deriva es un pequeño cosmos de energía en incessante transformación: hoy en insectos, mañana en peces, en aves y, nuevamente, en bosques ribereños, en el río mismo (fotografía de D. Rodríguez-Olarre).

Ríos en Riesgo de Venezuela 1

Edición a cargo de

Douglas Rodríguez Olarte

Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado
Barquisimeto. Venezuela

2017

Información



Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. UCLA
RIF G200000775 / www.ucla.edu.ve

Rector
Francesco LEONE

Vicerrectora Académica
Nelly VELÁSQUEZ

Vicerrector Administrativo
Edgar ALVARADO

Secretario General
Edgar RODRÍGUEZ

Decano de Agronomía
Nerio NARANJO

Museo de Ciencias Naturales UCLA
Colección Regional de Peces

Colección Recursos Hidrobiológicos de Venezuela

Serie

Ríos en Riesgo de Venezuela (Volumen 1)

Editor
Douglas RODRÍGUEZ OLARTE

Revisión de textos y estilo
Donald C. TAPHORN, Crispulo J. MARRERO

Diseño y diagramación
Douglas RODRÍGUEZ OLARTE

Sugerencias de cita. Obra completa: Rodríguez-Olarte, D. (Editor). 2017. *Ríos en riesgo de Venezuela. Volumen 1.* Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.

Capítulo: Galán, C. y Herrera, F. 2017. Ríos subterráneos y acuíferos kársticos de Venezuela: inventario, situación y conservación. Capítulo 7 (pp: 153-171). En: Rodríguez-Olarte, D. (Editor). *Ríos en riesgo de Venezuela. Volumen 1.* Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.

Primera edición digital: 15 febrero 2017

© los autores, 2017

236 p. Incluye bibliografías, figuras y tablas

Depósito Legal. Biblioteca Nacional de Venezuela: LA2016000137

ISBN Obra completa: 978-980-12-9274-6

ISBN Volumen 1 digital: 978-980-12-9350-7

1. Ecosistemas fluviales. 2. Geografía y clima. 3. Calidad de aguas. 4. Insectos acuáticos. 5. Ictiofauna. 6. Vegetación. 7. Perturbaciones. 8. Conservación. 9. Venezuela.

ISBN: 978-980-12-9274-6



9 789801 292746

Esta publicación y su contenido no representan necesariamente la expresión de opinión o juicio por parte de las instituciones de adscripción de los autores, incluyendo denominaciones, opiniones, inclusión de nombres, registros, datos o información complementaria proporcionada por los autores. Así, todos los aportes y opiniones expresadas son de la entera responsabilidad de los autores correspondientes.

Contenidos

Autorías y equipo de evaluación / 4

Agradecimientos / 8

Introducción / 9

Sección I

Coberturas regionales y casos especiales

- 1 Los ríos en la vertiente occidental del Lago de Maracaibo / 15-28

José E. RINCÓN

- 2 El Chama: un río andino en riesgo / 29-58

Samuel SEGNINI y María Marleny CHACÓN

- 3 Río Turbio: un síndrome urbano en la vertiente andina del Orinoco / 59-74

Douglas RODRÍGUEZ-OLARTE, Margenny BARRIOS, Crispulo J. MARRERO
y Lué Merú MARCÓ

- 4 Los ríos de los llanos de Apure / 75-107

José V. MONTOYA, Anais OSÍO, Mary C. PÉREZ y Víctor PINEDA

- 5 El bajo río Orinoco: aspectos hidrosedimentológicos, geoquímicos e influencia antrópica / 109-126

Abrahan MORA, Alain LARAQUE y José Luis LÓPEZ

- 6 Los ríos del Delta del Orinoco: situación y riesgo / 127-149

José Antonio MONENTE, Giuseppe COLONNELLO y Olga HERRERA

Sección II

Valor de patrimonio y eventos transversales

- 7 Ríos subterráneos y acuíferos kársticos de Venezuela: inventario, situación y conservación / 153-171

Carlos GALÁN y Francisco F. HERRERA

- 8 Escenarios de cambio climático y la conservación de los ríos de Venezuela / 173-188

Carlos MÉNDEZ, Meimalin MORENO, José V. MONTOYA, Ana FELICIEN, Nina NIKONOVA y Carmen BUENDÍA

- 9 La conservación de ambientes acuáticos: petróleo y otras actividades mineras en Venezuela / 189-201

Antonio MACHADO-ALLISON

- 10 El Estado y las leyes en la protección de los ríos en Venezuela / 203-219

Juan RIESTRA

- 11 El derecho internacional fluvial y los ríos transfronterizos de Venezuela: casos Carraipía-Paraguachón, Arauca y Barima / 221-236

Juan Carlos SAINZ-BORGO y Josmar FERNÁNDEZ

Autorías

Margenny BARRIOS GÓMEZ	Ing. Agronomía. (Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado). Interés: ecología de ecosistemas acuáticos, biogeografía de insectos. Museo de Ciencias Naturales. Departamento de Ciencias Biológicas. Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Postgrado de Ecología. Instituto de Investigaciones Científicas de Venezuela (IVIC). Caracas. Venezuela. margennybarrios@ucla.edu.ve
Carmen BUENDÍA	MSc. Fisiología Vegetal. Interés: ecología de cultivos de sabana y morichales. Laboratorio de ecosistemas y cambio global. Centro de Ecología. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Caracas, Venezuela. cbuendia@ivic.gob.ve
María Marleny CHACÓN	Dra. Ecología Tropical (Universidad de Los Andes, Venezuela). Interés: taxonomía, biología y ecología de los insectos acuáticos. Laboratorio de Ecología de Insectos. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes (ULA). Mérida, Venezuela. machacon@ula.ve
Giuseppe COLONNELLO	PhD. (Loughborough University, UK). Interés: ecología de comunidades de plantas y humedales continentales. Museo de Historia Natural La Salle. Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Caracas. giuseppe.colonello1@fundacionlasalle.org.ve
Ana FELICIEN	MSc. Ecología Tropical. Interés: ecología. Laboratorio de ecosistemas y cambio global. Centro de Ecología. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Caracas, Venezuela. afelicien@ivic.gob.ve
Josmar FERNÁNDEZ	MSc. Planificación del Desarrollo (CENDES-UCV, Venezuela). Interés: límites, fronteras, ambiente, gestión de ríos y cuencas hidrográficas. Comisión Presidencial para la Delimitación de Áreas Marinas y Submarinas con la República de Colombia y Otros temas (CONEG). Ministerio del Poder Popular para las Relaciones Exteriores, Venezuela. josmar.fernandez736@mppre.gob.ve
Carlos GALÁN	Lic. Ciencias Biológicas (Universidad de Barcelona, España & Universidad de La Plata, Argentina). Interés: ecología, Zoología, Fauna cavernícola, Biodiversidad y Conservación del medio ambiente. Laboratorio de Bioespeleología. Sociedad de Ciencias Aranzadi. San Sebastián, España. cegalam@yahoo.es
Francisco F. HERRERA	Dr. Ciencias Biológicas (Universidad de Exeter, Inglaterra). Interés: ecología, cambio global, conservación, fauna cavernícola, dinámica de la materia orgánica. Laboratorio de Ecofisiología Vegetal. Centro de Ecología. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Caracas, Venezuela. herreraf@ivic.gob.ve
Olga HERRERA	MSc. (Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Ecuador). Interés: conservación y manejo de mamíferos dulceacuícolas. Fundación para el Desarrollo de las Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (FUDEC). Caracas. olgah82@gmail.com
José Luis LÓPEZ	PhD. Hidráulica Fluvial (Colorado State University, EEUU). Interés: hidráulica fluvial, geomorfología, modelos matemáticos, aludes torrenciales. Instituto de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas (UCV). Venezuela. lopezjoseluis7@gmail.com
Antonio MACHADO-ALLISON	PhD. Zoología (The George Washington University, EEUU). Interés: filogenia y evolución ictiofauna continental; conservación ambientes acuáticos. Laboratorio Sistemática de Peces, Instituto de Zoología y Ecología Tropical. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela (UCV). Caracas, Venezuela. antonio.machado@ciens.ucv.ve
Lué-Merú MARCÓ PARRA	Dra. Química (Universidad Simón Bolívar, Venezuela). Interés: espectroscopía atómica y molecular, difracción y fluorescencia de rayos X, calidad ambiental, reciclaje, biorremediación. Departamento de Química y Suelos. Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela. mparra@ucla.edu.ve

Críspulo Julián MARRERO	Dr. Zoología (Universidad Central de Venezuela). Interés: ecología de ecosistemas acuáticos y sus biotas, bioindicadores. Laboratorio de Ecología de Insectos. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (UNELLEZ). Guanare, Venezuela. segniniz@ula.ve
Alain LARAQUE	PhD. Director de Investigación en Hidrología. Interés: hidrosedimentología, hidroclimatología, hidrobiogeocíquima fluvial, transporte de sedimentos, geomorfología. Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD), Francia. (GET UMR CNRS/IRD/UPS-UMR 5563 du CNRS, UMR 234 de l'IRD). alain.laraque@ird.fr
Carlos MÉNDEZ	Dr. Ciencias Biológicas (Universidad Simón Bolívar, Venezuela). Interés: cambio climático y global, adaptación al cambio climático. Laboratorio de Ecosistemas y Cambio Global, Centro de Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Caracas, Miranda, Venezuela. cmendez@ivic.gob.ve
José Antonio MONENTE	MSc. Ciencias (Universidad de Puerto Rico). Interés: mar Caribe venezolano, presencia del río Orinoco en el Caribe. Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Museo de Historia Natural La Salle. Caracas. jose.monente@fundacionlasalle.org.ve
José V. MONTOYA	PhD. Ecología y Biología Evolutiva (Texas A&M University, EEUU). Interés: ecología de comunidades y ecosistemas acuáticos fluviales. Laboratorio de Ecología Acuática, Centro de Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Altos de Pipe, Venezuela. jose.v.montoya@gmail.com
Abrahan MORA	Dr. Ciencias Ambientales (Universidad Politécnica de Madrid, España). Interés: geoquímica de aguas continentales, biogeoquímica ambiental, caracterización química de ecosistemas acuáticos. Centro del Agua para América Latina y el Caribe. Tecnológico de Monterrey. Monterrey, Nuevo León, México. abrahanmora@itesm.mx
Meimalin MORENO	Lic. Biología. Interés: ecología. Laboratorio de ecosistemas y cambio global. Centro de Ecología. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Caracas, Venezuela. memoreno@ivic.gob.ve
Nina NIKONOVA	MSc. Agrometeorología. Interés: micrometeorología. Laboratorio de ecosistemas y cambio global. Centro de Ecología. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Caracas, Venezuela. nnikonov@ivic.gob.ve
Anais OSÍO RAMÍREZ	Lic. Biología (Universidad Simón Bolívar, Venezuela). Interés: territorio y gestión local; ecología histórica, etnografía. Laboratorio de Ecología Acuática, Centro de Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Altos de Pipe, Venezuela. anaisosio@gmail.com
Mary C. PÉREZ CAÑIZALES	Ing. Química (Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Venezuela). Interés: hidroquímica de ríos y embalses, impacto de las actividades antrópicas sobre la calidad de agua. Laboratorio de Ecología Acuática, Centro de Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Altos de Pipe, Venezuela. maryperezc0111@gmail.com
Víctor PINEDA PEREIRA	MSc. Etnología General (Université Paris Ouest Nanterre La Défense, Francia). Interés: etnografía política en territorios populares, antropología del Estado venezolano, epistemología. Laboratorio de Estudio de Espacios Públicos, Centro de Estudios de Transformaciones Sociales, Ciencia y Conocimientos. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Altos de Pipe, Venezuela. victorpineda60@hotmail.com
Juan RIESTRA	MSc. Gerencia Ambiental. Interés: derecho ambiental, políticas públicas, gestión del ambiente y la biodiversidad, desarrollo sostenible. Posgrados en Derecho Administrativo e Ingeniería Ambiental, Universidad Católica Andrés Bello (UCAB). Caracas. Venezuela. jriestra@ucab.edu.ve

**José Elí
RINCÓN RAMÍREZ**

Dr. Ciencias, Mención Ecología (Universidad Central de Venezuela). Interés: ecología, procesamiento de materia orgánica fluvial, conservación e integridad ecológica, macroinvertebrados bentónicos. Laboratorio de Contaminación Acuática y Ecología Fluvial. Departamento de Biología. Facultad Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia. Maracaibo, Zulia. Venezuela.
jerincon04@gmail.com

**Douglas
RODRÍGUEZ-OLARTE**

Dr. Biología de la Conservación (Universidad Complutense de Madrid, España). Interés: biogeografía, integridad y conservación de la ictiofauna y los recursos hidrobiológicos continentales. Colección Regional de Peces. Museo de Ciencias Naturales. Departamento de Ciencias Biológicas. Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela. douglasrodriguez@ucla.edu.ve

**Juan Carlos
SAINZ-BORGO**

Dr. Derecho (Universidad Central de Venezuela). Interés: derecho ambiental internacional. Decano Universidad de la Paz de las Naciones Unidas, Costa Rica. sainz@gmail.com

**Samuel
SEGNINI**

Dr. Ciencias: Mención Entomología (Universidad Central de Venezuela). Interés: biología y ecología de los macroinvertebrados acuáticos y su uso como bioindicadores de la calidad del agua. Laboratorio de Ecología de Insectos. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes (ULA). Mérida, Venezuela. segnini@ula.ve

Instituciones



Universidad Centroccidental
Lisandro Alvarado



Museo de Ciencias Naturales
UCLA



Instituto Venezolano de
Investigaciones Científicas



Universidad Central
de Venezuela



Universidad de los Andes



Universidad del Zulia



Universidad Católica
Andrés Bello



Universidad Nacional Experimental
de los Llanos Ezequiel Zamora



Fundación La Salle
de Ciencias Naturales



Fundación para el Desarrollo
de las Ciencias Físicas,
Matemáticas y Naturales



Ministerio del Poder Popular
para las Relaciones Exteriores



Centro del Agua para América
Latina y el Caribe. México



Instituto de investigación
para el desarrollo. Francia.



Universidad para la Paz de las
Naciones Unidas. Costa Rica



Sociedad de Ciencias Aranzadi. España



Red iberoamericana para la
aplicación de protocolos de
evaluación del estado
ecológico, manejo y
restauración de ríos

Equipo de evaluación y asesoría

En la serie Ríos en Riesgo de Venezuela se expresan notables diferencias entre las ciencias y disciplinas abarcadas en cada capítulo, por lo que se ha convenido en el empleo de un lenguaje técnico, que es propio de una especialidad académica pero que se expresa en un vocabulario concreto y cercano a la experiencia del lector promedio de una obra de consulta; esto a diferencia del lenguaje científico, que es más específico y abstracto. Los capítulos han sido evaluados mediante un arbitraje por comunes, el cual fue desarrollado por un equipo de evaluación que colaboró en gran medida para mejorar y refinar los contenidos. Además, se recibió el apoyo para las revisiones de estilo. El editor y los autores agradecen sobremanera la disposición para la colaboración y el extenso trabajo desarrollado por parte del equipo de evaluación y asesoría.

Abrahan Mora. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. México

Alfred Zinck. University of Twente Enschede. Países Bajos

Ángel Viloria Petit. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Venezuela

Antonio Machado-Allison. Universidad Central de Venezuela. Venezuela

Aristide Márquez. Universidad de Oriente. Venezuela

Belkys Pérez. Universidad de Carabobo. Venezuela

Carlos Méndez. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Venezuela

Celsa Señaris. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Venezuela

Crispulo J. Marrero. Universidad Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. Venezuela

Donald C. Taphorn. Universidad Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. Venezuela

Elizabeth Gordon. Universidad Central de Venezuela. Venezuela

Franco Teixeira de Mello. Universidad de la República. Uruguay

Giuseppe Colonnello. Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Venezuela

Jairo Mojica. Universidad Nacional de Colombia. Colombia

José Antonio Monente. Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Venezuela

José Iván Mojica. Universidad Nacional de Colombia. Colombia

José Vicente Montoya. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Venezuela

Juan Carlos Sainz-Borgo. Universidad para la Paz, Naciones Unidas. Costa Rica

Lué Merú Marcó. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela

Luz Rodríguez. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas. Venezuela

María Marleny Chacón. Universidad de Los Andes. Venezuela

Pedro Jiménez Prado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas. Ecuador

Roberto Hidalgo. Ministerio del Poder Popular para Educación Universitaria, Ciencia y Tecnología. Venezuela

Teresa Elena Vegas. Universidad de Barcelona. España

Williams Méndez. Universidad Técnica de Manabí. Ecuador

Agradecimientos

Esta serie editorial se inicia en tiempos de resistencia científica y cultural para vindicar la investigación, la docencia y la divulgación sobre la naturaleza y su conservación, pero más por la apremiante necesidad en reconocer, valorar y resguardar los recursos naturales frente a la salvaje e impune incuria sobre el derecho personalísimo de los pueblos a un ambiente sano y a la conservación del patrimonio; derecho cada día en mayor flagrancia y patrimonio con pronóstico incierto. Así, a partir de una invitación provincial, los amigos y los colegas acudieron para vincular intereses y visiones sobre la conservación de los ríos. Y ese es nuestro mayor agradecimiento: a los autores que, apostando al editor y balanceándose entre agendas, labores y tribulaciones, lograron generar un cuerpo de datos e información actualizado y variopinto que ahora se presenta en el primer volumen de los Ríos en Riesgo de Venezuela.

La COLECCIÓN RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS DE VENEZUELA y su serie editorial RÍOS EN RIESGO DE VENEZUELA son iniciativas y proyectos de divulgación de la Colección Regional de Peces del Museo de Ciencias Naturales de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA) con base en la línea de investigación sobre la biogeografía, integridad y conservación de la ictiofauna continental. Las bases históricas de estas iniciativas provienen en gran medida de los proyectos subvencionados por el Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT-UCLA) y el Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT). Agradecemos al Departamento de Ciencias Biológicas, al Decanato de Agronomía y al Vicerrectorado Académico de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado por la representación institucional.

En el camino hemos ganado apoyos inusitados en diferentes escenarios: ya sea en instituciones y grupos organizados -como la Sociedad Venezolana de Ecología y la Red Iberoamericana para la formulación y aplicación de protocolos de evaluación del estado ecológico, manejo y restauración de ríos-, como en reuniones y congresos. Durante los avatares de esta edición han destacado las buenas palabras y quehaceres de Margenny Barrios, José Iván Mojica, José V. Montoya, Giuseppe Colonnello, Antonio Machado-Allison y Samuel Segnini.

De manera especial agradecemos a Donald Charles Taphorn y Crispulo Julián Marrero por su interés y seguimiento en la concepción y desarrollo de esta iniciativa; este es un tributo al regalo de su amistad y un homenaje a su trabajo por los ríos y en los ríos de Venezuela. También aquí una íngrima y postrera gratitud a Orlando Pichardo, quien cantó a los afectos y a los ríos, por los ríos y por nosotros.

Transitamos rutas de voluntades por caminos azarosos; por eso, en cada travesía y en cualquier avance agradecemos por nuestros buenos entornos -siempre de la mano con Sebastián Tomás, al abrazo de Emeliza María y al regazo de Isabel Zoraida-, pues es ahí donde medran y perduran los afectos y las ideas, es desde ahí que las metas se vislumbran inevitables.

Las paradojas de los ríos

...y aprenderás entonces que hay cosas como el río que se están yendo siempre, pero que no se van...
José Ángel Buesa

1. LAS PARADOJAS DE LOS RÍOS

Prácticamente todos los pueblos, las ciudades y hasta los países han evolucionado gracias a los ríos, a los alimentos que producen, la navegación que permiten y la cultura que generan. Pero ante la enorme, continua, diversa y gratuita oferta de servicios ecosistémicos fundamentales que los ríos ofrecen, la respuesta de la civilización ha sido una extraordinaria depauperación de los mismos. Si usted en este momento alza la vista y observa con cuidado su derredor urbano o rural es muy probable que detecte la presencia de un río -un arroyo, una quebrada- en las cercanías y, casi con terrible seguridad, ese río estará contaminado, transfigurado o seco. He aquí una percepción primaria que también es una verdad simple y global: *Los ríos son ecosistemas fundamentales para la vida, pero son frágiles, están en riesgo y si, se extinguen.*

La degeneración de ese río puede ser por una contaminación leve o extrema, acaso sea un río conservado con alguna que otra afectación de sus riberas o encarne un síndrome urbano soterrado por el hormigón y su corriente esté perdida para siempre en un cauce seco donde convergen los efluentes malsanos. También podrá identificar perturbaciones que inciden sobre el río con intensidad variable, como la extracción de agua, el ingreso de efluentes, incluyendo los residuos urbanos, industriales y agropecuarios, así como la pérdida de hábitats acuáticos y de bosques ribereños, entre otros. Es probable que igualmente note una lastimera ausencia de medidas de protección, restauración y de divulgación para la conservación de ese río.

Ahora considere una escala temporal. Una mirada al pasado siempre revela verdades a las que no se puede ser indiferente: las memorias propias y las compartidas dan cuenta que el río ha padecido un castigo ancestral bajo esas perturbaciones y que las mismas se han intensificado y diversificado en el tiempo, por lo cual la salud de ese río podría ser preocupante. Acaso también recuerde que en ciertos

años el río creció furibundo y retomó sus ámbitos arrebatados previamente por el urbanismo voraz; quizás también recuerde que los abuelos contaron sobre sus aguas limpias y aquellos inquietos peces durante la diversión familiar. Si la mirada es hacia el futuro sobreviene la certidumbre del cambio climático pero también un irritante desconocimiento de sus efectos locales. Aquí, más o menos, aflora una segunda percepción: *Por nuestras acciones e indolencia histórica los ríos arrostran un riesgo cada vez mayor y su futuro es incierto*

Si se incluye la escala espacial aparece la unidad que fundamenta al río y al paisaje fluvial: la cuenca hidrográfica. Previsiblemente, en la cuenca de ese río predominará una matriz desordenada del paisaje agrícola y urbano, habrá pocas o inadecuadas regulaciones en cuanto a la extracción de las aguas o a su tratamiento posterior al uso. Lo común sería una deforestación dispersa que potencia la erosión y colmata los cauces; quizás en las tierras elevadas habrán parques nacionales que protegen los bosques y, estos a su vez, conservan los ríos y sus aguas; aguas que se orientan y desvían a embalses, plantas de tratamiento o directamente a caseríos cada vez más sedentos y a campos agrícolas cada vez más ressecos. Pero dentro de una cuenca hay pueblos, ciudades y entidades administrativas. Si se asume que la mayoría de los municipios de un país (por ejemplo, Venezuela tiene 334 territorios municipales en 24 entidades federales) tienen su capital o ciudad principal asociada a un río, emergen múltiples y alarmantes preguntas. Es evidente que en todas las escalas urbanas y naturales la cantidad de ríos en riesgo es muy elevada y estos mismos ríos pueden revestirse como amenazas a sí mismos y su diversidad biológica, a la sanidad pública y a la seguridad alimentaria. Entonces el fenómeno de los ríos en riesgo se podría entender como una pandemia. Al valorar en conjunto lo descrito previamente aparece una tercera percepción, una epifanía que todos podrán interpretar de manera similar: *La paradoja de los ríos.*

2. LOS RÍOS DE VENEZUELA

El número de ríos de Venezuela es relevante y distintivo. En una división básica de la hidrografía continental se reconocen grandes cuencas (Lagos de Maracaibo y Valencia, Orinoco, Amazonas y Esequi-

bo) y vertientes (Mar Caribe y Océano Atlántico), y en ellas ríos con historia: Orinoco, Catatumbo, Casiquiare, Tocuyo. En la primera clasificación decimal de los ríos de Venezuela (COPLANARH 1969) la cartografía y las escalas del momento permitieron registrar centenares de ríos y quebradas en once regiones hidrográficas. Más reciente es la clasificación gubernamental de la Ley de Aguas (2007), que agrupa cerca de 80 ríos principales en 16 regiones. Según registros no actualizados, las aguas fluviales de Venezuela acumulan un caudal promedio que no sobrepasa los 35.000 m³/s, pero de ese enorme volumen el río Orinoco arrastra alrededor del 95%. El caudal restante se reparte en los drenajes al norte del país; esto es, Lago de Maracaibo y las cuencas costeras. Si se consideran sólo los ríos con drenaje directo al Mar Caribe, el volumen no sobrepasa los 300 m³/s, donde cerca de la mitad son aportados por las aguas de los ríos mayores, como el Manzanares, Tuy y Yaracuy, entre otros. Por contraste, al norte del país se asientan las mayores ciudades y se magnifica la deforestación de cuencas altas y bosques ribereños, la intervención de los ríos y el número de especies fluviales amenazadas. Algo similar, pero con menor extensión, ocurre en los ríos con origen andino, ya sea los que corren hacia el Lago de Maracaibo o hacia el río Orinoco; otro tanto se registra en los llanos, donde las pesquerías han mermado notablemente las poblaciones de peces. Al sur del Orinoco se cree que la mayoría de los ríos se encuentran conservados, pero en muchos casos la minería desenfrenada e impune vierte sus sedimentos contaminados desde las cabeceras hasta las planicies, con pérdidas importantes en las escalas biológicas y sociales.

En gran parte del siglo pasado los ríos fueron concebidos más como despensas hidrobiológicas que como ecosistemas fundamentales y frágiles; no obstante, se favoreció la conservación de sus fuentes. Así, una enorme red de áreas para la conservación (a la fecha: 43 parques nacionales y 36 monumentos naturales) se asocia en gran medida con la protección de los ríos, principalmente en las cabeceras y cuencas altas (Sierras de Perijá y San Luís, cordilleras de los Andes y de la Costa, Macizo Guayanés). Estos parques y monumentos resguardan las fuentes de agua fundamentales para el país; sin embargo, en la mayoría de los casos la protección fluvial es limitada, pues ya en las mismas fronteras de las áreas protegidas la expansión de las fronteras agropecuaria y urbana diezman las corrientes, los peces y los bosques ribereños (Rodríguez-Olarte et al. 2011).

El destino final de los ríos y su conservación como ecosistemas integrales no ha tenido el mismo interés que el aplicado a la conservación de sus nacientes.

Este es un mal extendido, donde una proporción muy grande de centros urbanos y agroindustriales no dispone del tratamiento adecuado de aguas servidas y, en la mayoría de los casos, los residuos son vertidos directamente a los ríos; estos, en su tránsito geográfico diluyen la polución en la cuenca baja, pero también la esparcen y permiten su acumulación en los seres vivos, sedimentos y riberas. De esas aguas corrompidas y cargadas de peligros que corren por las planicies y los estuarios dependen los pueblos (donde conviven personas comunes y corrientes como nosotros) y a donde se envían los recados del dolo perpetrado en las cuencas altas. De esas aguas viciadas se colman los embalses y se riegan los campos donde medran los cultivos y beben los rebaños, en esas aguas polutas crecen y se cosechan los peces que luego se sirven al bastión de las mesas familiares. He aquí esta pequeña ración para asimilar una de las tantas paradojas de los ríos en riesgo.

3. LOS RÍOS EN RIESGO

La tendencia global y comunicacional para la conservación de los recursos hidrobiológicos y los avances en el estudio de los ecosistemas fluviales ha tenido un interés creciente en Venezuela. Aparte de reportes históricos previos, las evaluaciones de los ríos del país, principalmente en cuanto a su oferta de agua para uso potable, riego y riesgos de inundación, tuvieron un auge en la segunda mitad del siglo XX; así, con el apoyo gubernamental destacaron las extensas series de la Comisión de Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos (COPLANARH) y los volúmenes de los Sistemas ambientales venezolanos (proyecto VEN/79/001). A estos logros se añadieron ediciones divulgativas, como el libro Ríos de Venezuela (Zinck 1977). A finales de siglo se generaron caracterizaciones y compendios importantes sobre los ríos (ej. Weibezahn et al. 1990, Cressa et al. 1990, Monente 1991) y se reconocieron la distribución, taxonomía, ecología, conservación y factores adversos a sus biotas (ej. Huber 1988, Colonnello 1990, Taphorn 1992, Machado-Allison 2005), así como aspectos de la antropología de los pueblos ribereños o el derecho fluvial. Durante el siglo XXI se han generado otros extensos y diversos reportes, ya sea sobre pesquerías, situación de los recursos acuáticos o la conservación de los ríos, sus cuencas y bosques ribereños (ej. Novoa 2002, Fundambiente 2006, Lasso et al. 2011, 2015), donde destacan las evaluaciones ecológicas rápidas de los ecosistemas acuáticos, que produjeron una importante serie sobre algunas regiones del país (ej. Cuyuní, Lasso et al. 2010). A la par se suman otras evaluaciones de interés, como son los libros rojos de la flora (Llamozas et al. 2002), la fauna

(Rodríguez et al. 2015) y de los ecosistemas terrestres de Venezuela (Rodríguez et al. 2010), donde los ríos son reconocidos con interés para su conservación. A lo anterior se incluye un extenso y diversificado cuerpo de evidencias sobre los ríos de Venezuela generadas en diferentes publicaciones. A este interés se suman la modernización de los conceptos sobre los servicios ecosistémicos y las predicciones del cambio climático que, frente al crecimiento poblacional y sus demandas, deben ser tomadas en cuenta en la planificación y administración de los recursos hidrobiológicos fluviales.

La revisión de informes, tesis, revistas científicas y libros especializados sobre los recursos hidrobiológicos continentales dan cuenta -con intensidad variable- de la gravedad sobre los ríos en Venezuela; sin embargo, las evaluaciones en cuanto al estado de conservación de los ríos, la síntesis de su información geográfica o los fenómenos que en ellos ocurren son poco conocidas más allá de tales publicaciones, menos aún en compendios que integren los diferentes campos de la ciencia, la investigación y la divulgación. Se llega entonces a la concepción de los ríos en riesgo, porque ese riesgo es un evento notorio, conocido (también obviado) y continuado que, además, pone en riesgo los otros compartimientos de las cuencas hidrográficas y las poblaciones humanas. Los ríos en riesgo están en toda Venezuela, donde la diversidad biológica, el patrimonio nacional y la seguridad alimentaria navegan en medio de incógnitas debido a la carencia de datos o información adecuada para valorar el fenómeno, impidiendo sensibilizar posturas, prever efectos y desarrollar estrategias de conservación.

Los Ríos en Riesgo de Venezuela es una serie editorial que convoca diferentes disciplinas de la historia natural y de las ciencias sociales para actualizar y validar la información sobre los ríos de Venezuela; esto mediante un compendio académico con interés en ser referencia para la consulta y la divulgación. Cada volumen consta de secciones donde se tratan las regiones hidrográficas -incluyendo cuencas, ríos y casos especiales- mientras que por otro lado se tratan aspectos y eventos transversales, aquellos que ocurren o pueden ser reconocidos en la mayoría de los ríos, como es la minería, el cambio climático o la legislación ambiental, por ejemplo.

En este primer volumen de los Ríos en Riesgo se presentan once capítulos con alcances variados. En el mismo concurren 28 autores especializados y que representan por lo menos a 15 instituciones académicas, dependencias gubernamentales y grupos organizados dentro y fuera de Venezuela. En la Sección I (Coberturas regionales y casos especiales) el Capítulo 1 explora los grandes ríos que drenan hacia la costa

occidental del Lago de Maracaibo, donde destacan los ríos Guasare, Palmar y Catatumbo; el primero bajo la amenaza de la minería de carbón y todos a merced de la deforestación de cuencas altas y la expansión de fronteras agrícolas. Los ríos andinos son de especial interés en este volumen. En la cuenca alta del río Chama la deforestación cubre cerca de la mitad de su superficie y en su cuenca baja sobreviven relictos de una de las mayores selvas húmedas tropicales que existían al norte de Venezuela. Gran parte de sus aguas derivan al riego y el uso doméstico con la consecuente contaminación que subsidia en gran medida la eutrofización del Lago de Maracaibo (Capítulo 2). En vertiente andina del Orinoco (Sierra de Portuguesa) se describe y diagnostica al río Turbio y su cuenca con un síndrome urbano (Capítulo 3). Este río muestra la transformación y la pérdida drástica de sus hábitats, aguas y diversidad biológica en un gradiente que va desde las montañas bajo el resguardo de diferentes áreas protegidas hasta las planicies conurbadas, y agotadas por la agricultura, donde conviven más de un millón y medio de personas.

Tres notables colaboraciones reseñan hitos en la cuenca del Orinoco. En el Capítulo 4 se presenta un análisis sobre la hidrografía en los llanos de Apure, donde los ríos disímiles, como el Apure, el Arauca o el Cinaruco, dominan el paisaje y donde los ciclos anuales cambian periódicamente los patrones en la abundancia y distribución de los organismos, pero también de las faenas agropecuarias y los riesgos ambientales. La hidrosedimentología del bajo Orinoco es explorada en el Capítulo 5; ahí se recogen las magnitudes asombrosas del río, como lo es su enorme caudal y que acaso es responsable de una importante y solapada dilución de elementos contaminantes generados por las industrias y poblados ribereños. En el Delta del Orinoco (Capítulo 6) también las dimensiones son de interés, pero más lo son las intrincadas influencias fluviales y marinas en su conformación y los efectos perniciosos, como el cierre del caño Máname, el dragado o la actividad petrolera.

Los eventos transversales son conspicuos en todo el país, por lo que son reseñados y valorados en la Sección II (Valor de patrimonio y eventos transversales). Un copioso y completo inventario de los ríos subterráneos en las principales formaciones kársticas del país se presenta en el Capítulo 7, donde se evidencia la relevancia e importancia de esos hidrosistemas dentro de las cuencas hidrográficas, su notable fragilidad frente a las perturbaciones humanas y las prioridades para su conservación. En el Capítulo 8 se valoran los efectos potenciales de cuatro escenarios del cambio climático sobre ríos en diferentes regiones del país. Los resultados son preocupantes: el aumento de

la temperatura será heterogéneo en todo el territorio y los caudales serán afectados por la sequía, con un previsible efecto en la composición de la biota acuática. La minería en Venezuela extiende y diversifica sus ramas, siempre próximas a los ríos y con efectos tremendos sobre la conservación de los ecosistemas acuáticos y sus biotas. En el Capítulo 9 se presentan datos e información de relevancia para entender los alcances de esta frontera industrial. Dos capítulos exploran el campo legal y diplomático en cuanto a la conservación de los ríos del país. En el Capítulo 10 se presenta un compendio sobre la variada legislación venezolana en cuanto a la protección de los ríos, ahí resaltan diferentes instrumentos, ya sea desde la Constitución, la Ley Orgánica del Ambiente o la Ley de Aguas. El derecho internacional fluvial es centro de interés para los ríos en cuencas transfronterizas (Capítulo 11), como son los casos de los ríos Carraipía-Paraguachón, Arauca (incluyendo su fuga de Bayonero) y Barima, donde se explica y muestra la necesidad de la negociación y la cooperación entre los países involucrados para promover la gestión integral de las cuencas hidrográficas.

Al contrario del epígrafe, los ríos si se van, se extinguirán para siempre, por eso, la serie de los Ríos en Riesgo de Venezuela es una suerte de vindicación para conocer y valorar los ecosistemas fluviales, para apreciar a los ríos como un patrimonio vivo y con historia, un patrimonio frágil y apremiado de conservación.

BIBLIOGRAFÍA

- Colonello, G. 1990. A Venezuelan floodplain study on the Orinoco river. *Forest Ecology and Management*. 33: 103-124.
- COPLANARH. 1969. *Clasificación decimal de los ríos de Venezuela*. Publicación N° 4. Comisión del plan nacional de aprovechamiento de los recursos hidráulicos, Caracas. Venezuela.
- Cressa, C., Vásquez, E., Zoppi, E., Rincón, J. E. y López C. 1993. Aspectos generales de la limnología en Venezuela. *Interciencia*. 18(5): 237-248.
- Fundambiente. 2006. *Recursos hídricos de Venezuela*. Fundación de Educación Ambiental. Fundambiente. Ministerio del Ambiente, Caracas. Venezuela. 1^{ra} edición.
- Huber, O. 1988. *Mapa de vegetación de Venezuela*. República de Venezuela, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Dirección General de Información e Investigación del Ambiente, Dirección de Suelos, Vegetación y Fauna, División de Vegetación.
- Lasso, C. A., Blanco-Libreros, J. F. y Sánchez-Duarte, P. (Editores). 2015. XII. *Cuencas pericontinentales de Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela: tipología, biodiversidad, servicios ecosistémicos y sostenibilidad de los ríos, quebradas y arroyos costeros*. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia.
- Lasso, C. A., Rial, A., Matallana, C., Ramírez, W., Señaris, J., Díaz-Pulido, A., Corzo, G. y Machado-Allison, A. (Eds.). 2011. *Biodiversidad de la cuenca del Orinoco. II Áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle de Ciencias Naturales e Instituto de Estudios de la Orinoquia (Universidad Nacional de Colombia). Bogotá, D.C., Colombia.
- Lasso, C. A., Señaris, J., Rial, A. 2010. *Evaluación rápida de la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos de la cuenca alta del río Cuyuni, Guayana Venezolana*. Vol. 55 de RAP Bulletin of Biological Assessment/ Bol. RAP de Evaluación Biológica. Conservation International Rapid Assessment Program Series. Editor Conservation International.
- Llamozas, S., Duno de Stefano, R., Meier, W., Riina, R., Stauffer, F., Aymard, G., Huber, O., y Ortiz, R. 2003. *Libro Rojo de la Flora Venezolana*. Pro vita, Fundación Polar y Fundación Instituto Botánico de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Machado-Allison, A. 2005. *Los peces de los llanos de Venezuela: un ensayo sobre su historia natural*. (3ra edición) Colección Estudios. CDCH-UCV, Edit. Torino, Caracas.
- Monente, J. A. 1991. Análisis de la información sobre la hidroquímica del río Orinoco. *Memoria Sociedad Ciencias Naturales La Salle*. 51(135-136): 249-261.
- Novoa, D. (Editor). 2002. *Los recursos pesqueros del eje fluvial Orinoco-Apure: presente y futuro*. 2002. Caracas: Ministerio de Agricultura y Tierras: Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura.
- Rodríguez-Olarte, D., Taphorn, D. C. y Lobón-Cerviá J. 2011. Do protected areas conserve Neotropical freshwater fishes? A case study of a biogeographic province in Venezuela. *Animal Biodiversity and Conservation*. 34(2): 273-285.
- Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. (Editores). 2015. *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. Pro vita y Fundación Empresas Polar. Caracas, Venezuela. Recuperado de: animalesamenazados.provita.org.ve
- Rodríguez, J. P., Rojas-Suárez, F. y Giraldo, D. (Editores) 2010. *Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela*. Pro vita, Shell Venezuela, Lenovo (Venezuela). Caracas: Venezuela.
- Taphorn, D. C. 1992. The characiform fishes of the Apure river drainage, Venezuela. *Biollania. Edición Especial*. N°4. 1-537 pp.
- Weibezahn, F., Álvarez, H. y Lewis, W. (Editores). 1990. *El río Orinoco como ecosistema*. Caracas: Electrificación del Caroní C. A. (EDELCA), Fondo Editorial Acta Científica Venezolana, C.A. Venezolana de Navegación (CAVN), Universidad Simón Bolívar.
- Zinck, A. 1977. *Ríos de Venezuela*. Cuadernos Lagoven. Caracas. Venezuela.

Douglas Rodríguez Olarte



Sección I Coberturas regionales y casos especiales

Cabeceras del río Motatán de los Negros (cerro La Galera) en la cuenca del Lago de Maracaibo

...VERTIENTE AL MAR.

Tirando desde la península de Paraguaná una línea que atraviese la sierra de S. Luis de Coro, que siga después hacia las altas sabanas de Taratarare y continúe por los cerros que dividen los llanos de Carora de los del Cenizo, y en fin, por las cumbres que se dirigen hacia Aguaobispo y el páramo de las Rosas, se encuentra la línea occidental del declive de la costa, y al mismo tiempo la más internada hacia el sur. Los cerros que dividen el valle del Tocuyo del de Barquisimeto y las colinas que se extienden hacia Duaca, y luego retroceden hasta cerca de Urachiche en las sabanas de Parra, dirigiéndose después a los cerros de Nirgua, trazan la línea oriental de estos terrenos, cuyos declives de sur a norte van a perderse en el mar de las Antillas. Las serranías de Nirgua, Montalvan, Puerto-Cabello, Ocumare y Caracas presentan unas cuestas rápidas y cortas, también de sur a norte, hasta frente a la abra de Catia; entonces se ensanchan a causa de los cerros que forman los valles del Guaire y del Tui y que determinan la hoya de Valencia. La cumbre de la cordillera del Pao de Sárate y de Altagracia limita el declive de los terrenos cuyas aguas van a la mar conducidas por el Tui. En la montaña de Tamanaco se ensanchan aún más las tierras hasta el cerro Tucusipano, situado a medio de las llanuras del cantón de Chaguaramas, y de allí el declive se une por unas mesas a una pequeña sierra que está en medio de las sabanas y de origen al río Unare. Entonces las mesas de Pariaguan, Cahipo y los bordes de la de Guanipa figuran el resto de este declivio, que se une al cerro de Turumiquiri y se pierde casi al frente á Cumaná para fenercer en las penínsulas de Araya y Paria. El total de este territorio que desagua directamente al mar, tiene una superficie de 2,907 l. c., pudiendo admitirse, según las diferentes localidades. Que por término medio caen en él 71 pulgadas de agua dulce todos los años. Sirven de desagüe a estas tierras 230 ríos y más de 400 riachuelos, siendo los más importantes el Tocuyo, que recibe el tributo de 530 l. c.; el Unare que recoge las aguas de 400 y el Tui, por donde descargan las de 250.

Agustín Codazzi. Resumen de la geografía de Venezuela, 1841
(vocablos actualizados, excepto los nombres geográficos)

Capítulo 1

Estado de conservación de los ríos en la costa occidental del Lago de Maracaibo

José Elí RINCÓN RAMÍREZ

Laboratorio de Contaminación Acuática y Ecología Fluvial. Departamento de Biología.
Facultad Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia. Maracaibo, Zulia. Venezuela.
jerincon04@gmail.com

Con el objeto de delinear el estatus de conservación de algunos ecosistemas fluviales representativos de la costa occidental de la cuenca del Lago de Maracaibo se describen las características físico-naturales de estos ecosistemas y se señalan los principales efectos de la intervención humana sobre las distintas cuencas y sobre el ecosistema fluvial. La región zuliana configura una extensa faja continental en forma de “U” que conforma la cuenca hidrográfica del Lago de Maracaibo. Se reconocen tres grandes porciones de tierras que se identifican en relación al plano de las aguas del lago como: la costa occidental, la costa oriental y el sur del lago. La costa occidental de lago se ha considerado como la extensión que ocupa los territorios desde el norte en la Goajira Venezolana hasta los límites del río Catatumbo con el río Escalante. A pesar de la enorme importancia para el suministro de agua y recursos acuáticos para la región zuliana y el país, se observa una muy baja cantidad de información generada sobre estos “hidrosistemas”. Asimismo, existe una carencia alarmante de datos hidrometeorológicos, fundamentales para la evaluación de riesgos y la toma de decisiones ante eventos meteorológicos extremos. Las cuencas hidrográficas de la costa occidental del Lago de Maracaibo comparten los efectos de las actividades humanas que se vienen desarrollando en estos territorios. Entre estas destacan la deforestación, la transformación de la cobertura vegetal, la alteración de la calidad físico-química del agua y del hábitat fluvial. Esta intervención antrópica tiene profundos y variados efectos sobre la integridad ecológica de estos ecosistemas fluviales, particularmente en las zonas de las cuencas medias y bajas, aunque más recientemente también se están interviniendo las cuencas altas. Se destaca la existencia de muchos vacíos de información que deben ser subsanados para poder mejorar los niveles de análisis y realizar propuestas efectivas para el manejo y conservación de estas cuencas.

Palabras clave: Lago de Maracaibo, Red fluvial, Integridad Ecológica, Conservación, Uso de la Tierra.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del Lago de Maracaibo es una amplia fosa de hundimiento ocupada por el lago y extensas planicies aluviales, delimitada por un marco montañoso de alturas y características fisiográficas variables (Cordillera de los Andes, Sierra de Perijá y Serranía de Coro). Dentro de este sistema hidrográfico se presenta una amplia red fluvial con características muy diversas y con una importancia fundamental en el suministro de recursos hidrológicos y en la dinámica del complejo ecosistema lacustre. Las actividades agropecuarias, industriales y mineras y el asentamiento de grandes centros urbanos representan grandes amenazas para la conservación de estos ecosistemas fluviales. Poco se conoce sobre las características naturales de estos ríos ni de los servicios ambientales que proveen. En este capítulo se elaboró con información propia y proveniente de datos publicados en revistas científicas, informes técnicos y tesis de grado, una caracterización físico-natural de algunos ecosistemas fluviales representativos de la costa occidental de la cuenca del Lago de Maracaibo.

Si bien, la escasa información que se tiene no permite abarcar la totalidad de las subcuenca, se espera que este análisis posibilite delinear el estatus de conservación de estos ecosistemas y proponer lineamientos específicos que permitan mejorar el manejo adecuado de los mismos. El capítulo ha sido dividido en tres secciones: I) descripción general de la costa occidental del Lago de Maracaibo, II) caracterización de los principales sistemas hidrográficos de la costa occidental en el que se incluye a) subcuenca del río Guasare y Socuy, b) subcuenca del río Palmar, c) subcuenca del río Santa Ana, d) subcuenca del río Catatumbo, y III) la intervención, tendencias y valoración sobre el estado de conservación.

I. LA COSTA OCCIDENTAL DEL LAGO DE MARACAIBO

La región zuliana se ubica en la porción más noroccidental de Venezuela. Se encuentra situada entre dos importantes cadenas montañosas de nuestro sistema orográfico andino, la Sierra de Perijá en su límite occidental con Colombia y las serranías de Táchira y Mérida en la parte suroccidental y meridional, y las serranías de Trujillo y las estribaciones montañosas de los estados Lara y Falcón, bordean las secciones suroriental y oriental de la región. Estas dos cadenas montañosas conforman un arco que en forma de "Y", inclinada a la derecha y abierta al norte, rodean y delimitan en su interior una amplia cuenca sedimentaria que estructuralmente corresponde a una gran depresión tectónica ocupada al

centro por las aguas del Lago de Maracaibo (Espinoza 1987). Las áreas interiores de estos dos ramales montañosos, constituyen extensas planicies aluviales que bordean al lago. Por su ubicación centrada, por su forma y extensión alargada, el lago divide la entidad regional en dos bloques territoriales, uno occidental y otro oriental y ambos tienen continuidad en la parte sur. De esta manera el territorio regional configura una extensa faja continental en forma de "U", y en base a esta estructura espacial se reconocen grandes porciones de tierras, las cuales se identifican en relación al plano de las aguas del lago: la costa occidental, la costa oriental y el sur del lago (Espinoza 1987). Se considera de manera arbitraria que la costa occidental de lago ocupa los territorios desde el norte en la Goajira venezolana hasta los límites del río Catatumbo con el río Escalante.

La costa occidental del Lago de Maracaibo hidrográficamente se caracteriza por la presencia de numerosos ríos que descargan sus aguas directamente al lago. Estos ríos proporcionan volúmenes considerables en el sur y menor cantidad hacia el norte en concordancia con los regímenes de precipitación de esta extensa área. Esta red hidrográfica tienen sus nacientes en la cordillera o Sierra de Perijá, configurando cuencas hidrográficas y patrones de drenaje que son en gran medida el resultado de la conformación morfoestructural, la variación y la dinámica pluviométrica, el estado y régimen de ocupación y explotación del territorio, y el de las condiciones ecológicas de los diferentes sistemas ambientales que forman los conjuntos de paisajes que integran la geografía regional (Espinoza 1987). En las zonas montañosas el patrón de drenaje es de tipo subparalelo, en las zonas del piedemonte se presentan los del tipo dendrítico, mientras que en las zonas de las llanuras aluviales el patrón es bastante difuso y por lo general es del tipo anastomosado. La región occidental del Lago de Maracaibo está conformada principalmente por cinco sistemas hidrográficos que configuran los ríos más importantes desde el punto de vista de los volúmenes de agua transportados: 1) río Guasare-Limón, 2) río Palmar, 3) río Apón, 4) río Santa Ana, y 5) río Catatumbo (Figura 1, Tabla 1).

II. SISTEMAS HIDROGRÁFICOS

Río Guasare-Limón

Se ubica en la parte noroccidental de la región en la zona fronteriza con Colombia (Figura 1). Su cuenca es drenada por el río Guasare, el cual se inicia en las estribaciones noroccidentales de la Sierra de Perijá, específicamente en el Cerro Pintado, y cambia de nombre por el de río Limón cuando recibe las aguas

de su afluente el río Socuy hasta su desembocadura en el lago. Incluye a los municipios Mara, Páez y Jesús Enrique Lossada del estado Zulia. Hidrográficamente esta cuenca está compuesta por el área de las cuencas de las escorrentías que recolecta el eje principal del río Guasare-Limón y por el área que drena su tributario principal, el río Socuy-Cachirí, en el cual se ubican los embalses Manuelote y Tulé. Estos constituyen los principales reservorios de agua para la población de Maracaibo. La cuenca total tiene una superficie de 4.133,2 km² (Tabla 1), es de forma alargada, y el eje principal del sistema Guasare-Limón tiene una longitud de 220 km.

La cobertura vegetal está constituida fundamentalmente por bosques de tipo tropófilos premontanos, deciduos y semideciduos, ombrófilos basimontanos semideciduos estacionales, ombrófilos submontanos y montanos siempre verdes, así como arbustivos, matorrales y pastizales, aunque también, en menor cuantía, por cultivos agrícolas. En los pisos inferiores a los 800 msnm, las asociaciones vegetales son representativas de un bosque seco tropical, y en las partes altas la cobertura es típicamente la de un bosque húmedo tropical. En la cuenca ha sido decretada un área bajo régimen especial, la Zona Protectora de Suelos, Bosques y Agua de las Cuencas de los Ríos Guasare, Socuy y Cachirí, la cual se localiza en los municipios Jesús Enrique Lossada, Mara y Páez, según decreto N° 1.444 de fecha 24 de octubre de 1973, Gaceta Oficial N° 30.242 de fecha 30 de octubre de 1973. Esta zona protectora cubre una superficie de 302.000 ha.

El área está integrada principalmente por tres grandes paisajes: un paisaje de relieve quebrado y ondulado que se corresponde con las colinas y lomas piedemontinas de la Sierra de Perijá; un paisaje de montañas bajas pertenecientes a las estribaciones finales de la Serranía de Montes de Oca y un paisaje de montañas altas de relieve accidentado en las que se destaca la Serranía de Perijá, la cual está ligada tectónicamente y estratigráficamente con la Cordillera de los Andes, existiendo depresiones intramontanas como es el caso del valle estructural del río Guasare (Espinoza 1987).

La geomorfología de la cuenca alta del río Guasare-Limón presenta características montañosas, forma vertientes rectilíneas y empinadas con crestas agudas. Los valles son entallados en forma de "V", con ausencia de terrazas aluviales. La cuenca media corresponde a una topografía de colinas altas; en este tramo intermedio, las terrazas aluviales son escasas y de muy reducida extensión. Las formas del piedemonte constituyen un plano topográfico ondulado e inclinado. Las planicies aluviales de desborde de los



Figura 1. La cuenca del Lago de Maracaibo. Principales ríos en la costa occidental del lago: Guasare-Limón, Palmar, Apón, Santa Ana y Catatumbo. Los principales centros urbanos se indican en rojo.

ríos Guasare y Socuy están delimitadas al norte y al sur por un conjunto de colinas de mediana a baja altura. La desembocadura de estos ríos comprende los sistemas fluviales en la zona cenagosa de Sina-maica, caracterizada por una gran proporción de cauces colmatados, cubetas y lagunas. Geológicamente, se presenta una estructura joven, en donde se encuentran afloramientos del período Terciario y Mesozoico en el área de la cordillera de Perijá, específicamente en la zona de Montes de Oca. Luego de estas elevaciones, se presenta un relieve plano que es constituido por material de la era Cuaternaria; este mismo material se disemina para conformar la depresión del Lago de Maracaibo. En la cuenca se presentan dos condiciones climáticas, la primera

representa un clima tropical semiárido que ocurre en las márgenes del Lago de Maracaibo. La otra es un clima subhúmedo que se extiende desde este límite hasta el piedemonte de la Sierra de Perijá. Las precipitaciones se incrementan de norte a sur y de este a oeste, variando en ambos sentidos, desde 500 a 1.500 mm anuales. La temperatura se mantiene durante casi todo el año con un promedio de 27,8 °C, disminuyendo con la altitud. La evaporación alcanza valores mayores de 2.500 mm anuales y en la zona del piedemonte hasta valores entre 1.800-2.000 mm anuales.

En la cuenca del río Guasare existe un desarrollo industrial para la explotación del carbón. Las reservas de carbón de la zona están estimadas en 6.053 MMTM (Escobar y Martínez 1993). Esta cuenca presenta un aumento de la producción de sedimento por la intervención de las cuencas altas y medias, así como de un acelerado desarrollo agrícola (Soto 1998). El caudal promedio para el río Guasare en el periodo 1974-1991, fue de 159,42 m³/s en la estación El Carbón (Tabla 1), ubicada en el campamento del MARNR en el río Guasare. En el colector principal de toda la cuenca, el río Limón, el caudal medio anual es de 85 m³/s y el volumen escurrido total es de 2577 Mm³/año (Figura 2, Tabla 1) (MARNR 1986, 2006).

Existe poca información limnológica disponible sobre los principales ríos en esta cuenca. Bello (1985) realiza mediciones puntuales de las condiciones físico-químicas del río Guasare previo a la explotación del carbón en una localidad de la cuenca media. Con la poca información recolectada el autor hizo generalizaciones a la conductividad del agua (260 µmhos/cm), la alcalinidad (129 mg/l), así como las concentraciones de calcio (40 mg/l), oxígeno disuelto (10,2 mg/l) y sulfatos (3,57 mg/l). Esta información permite caracterizar a estas aguas como muy mineralizadas y ricas en carbonatos de calcio, lo que se explica por la gran cantidad de depósitos de calizas en los suelos de la cuenca (Espinoza 1987).

Los cursos de agua secundarios (permanentes o intermitentes) y tributarios del río Guasare han recibido mayor atención y han sido objeto de caracterizaciones previas a la explotación minera (Ferrer 1983, Bello 1985, Rincón 1986, Pomares 1988) y posteriores a la misma se realizaron evaluaciones ecológicas en relación al impacto provocado por la minería de carbón sobre las condiciones ambientales y la integridad estructural y funcional de estos ecosistemas (Rincón 1996, 1997, Molina 2009, León 2009). Los caños de la región carbonífera del Guasare han sido estudiados por más de 30 años (desde principio de los años ochenta hasta la actualidad),

pudiendo decirse que son los cuerpos de agua lóticos mejor conocidos en la región, incluyendo sus ríos subterráneos (ver Galán y Herrera 2017), y han servido como una importante línea base para la evaluación del impacto de las actividades mineras sobre la estructura y funcionamiento de estos ecosistemas. Es así como estos pequeños tributarios se pueden considerar como un laboratorio natural que aportan información para la elaboración de modelos e inferencias sobre ecosistemas de igual o mayor tamaño (Figura 2). Desde un punto de vista metabólico estas corrientes pueden ser clasificadas como heterótrofas, es decir que su funcionamiento es dependiente de la entrada de energía en forma de materia orgánica alloctona proveniente del bosque de ribera (Ferrer 1983). Un total de 18 especies de peces han sido reportadas para estos pequeños sistemas con hábitats limitados espacial y temporalmente debido al carácter intermitente de estas corrientes; destacan la familia Characidae con las especies *Astyanax fasciatus*, *Roeboides dayi*, *Hemibrycon jabonero* y *Astyanax magdalena*, y de la familia Cichlidae las especies *Geophagus steindachneri* y *Aequidens pulcher* (Pomares 1988). Es significativo la presencia del cangrejo dulceacuícola *Bottiella nicefori* (Decapoda: Trichodactylidae), especie endémica de la zona noroccidental de Venezuela y norte de Colombia, que participa en el procesamiento de la materia orgánica en estos ríos (Pirela y Rincón 2013). Lo anterior implica que la conservación de los hábitats fluviales en la región es de vital importancia para la conservación de esta especie.

El carácter intermitente del flujo de agua en estos caños de la región del río Guasare provee de hábitats muy severos, inestables e impredecibles para las comunidades que allí habitan y supone la existencia de mecanismos adaptativos (ecológicos, fisiológicos, conductuales, entre otros) de los organismos para la sobrevivencia a estas condiciones. En el caso de los macroinvertebrados bentónicos, los estudios experimentales realizados sugieren que estas comunidades responden a los efectos perturbadores del flujo de la corriente con una alta resiliencia y eficientes mecanismos de recolonización, entre los que destaca la deriva de los distintos grupos de invertebrados (Urribarrí y Rincón 2010).

La explotación del yacimiento de carbón del Guasare inició en el año 1987 y la primera evaluación de los impactos provocados por las actividades mineras sobre las corrientes de agua en la zona se realizó en el año 1989. De acuerdo a este primer estudio se concluyó que fue modificada la calidad físico-química del cuerpo de agua (caño “Paso Diablo”) en la localidad aguas-abajo que recibe

Tabla 1. Superficie de las cuencas y volumen de los caudales de los ríos Guasare-Limón, Palmar, Apón, Santa Ana y Catatumbo. Fuentes: a (MARNR 2006), b (MARNR 1982).

Cuenca	Superficie (km ²)	Caudal promedio Anual (m ³ /s) ^a	Volumen escurrido (Mm ³ /año) ^b	Principales usos de la tierra
Guasare-Limón	4133	85	2577	Industrial-minero y agropecuario
Palmar	2758	28	928	Agropecuario y urbano
Apón	1721	32	845	Agropecuario y urbano
Santa Ana	2154	306	3359	Agropecuario
Catatumbo	25565	633	4846	Agropecuario y urbano

directamente los impactos de la actividad minera, con respecto a la localidad de referencia aguas-arriba de la mina; específicamente con la elevación de la conductividad del agua, el contenido de carbonato de calcio (dureza del agua) y las concentraciones de los iones calcio, magnesio y sulfatos (Rincón 1994). Asimismo, la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos mostró una disminución de la densidad, biomasa y riqueza en la localidad aguas-abajo del área de la mina al compararla con la localidad de referencia aguas-arriba (Rincón 1996). La composición de la comunidad bentónica cambió de una dominancia de los órdenes Trichoptera y Ephemeroptera en los segmentos de referencia a una dominancia de Ephemeroptera y Diptera en la localidad aguas-abajo de las actividades de la mina de carbón. Desde un punto de vista funcional, la comunidad cambió de un dominio de los filtradores a un dominio de los colectores en la localidad perturbada por la minería (Rincón 1996). Evaluaciones más recientes (2007-2008) indican que con respecto a la localidad de referencia aguas-arriba y a la evaluación inicial, se incrementa considerablemente la conductividad del agua en la localidad aguas-abajo de la mina de carbón, llegando a alcanzar valores de 6.800 µS/cm, nueve veces más altos que en las localidades de referencia. De manera similar, se incrementan los valores de dureza total alcanzando un valor nueve veces mayor en la localidad impactada (1.792 mg/l CaCO₃) (Molina 2009). En tal estudio se observó una homogeneización del substrato de la corriente aguas-abajo de la mina con una predominancia de guijarros, grava y arena gruesa, con respecto al tramo de referencia aguas-arriba que mostró un substrato con una mezcla heterogénea de

rocas grandes, cantos, guijarros, grava y parches de hojarasca. Estos cambios en la calidad del hábitat fluvial provocaron cambios a nivel de la composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos. La composición cambió de una dominancia de dípteros, efemerópteros y tricópteros en la localidad aguas arriba de la mina, a una dominancia del gasterópodo *Tarebia granifera* (con más del 50% de la abundancia de la comunidad), seguido de dípteros, tricópteros y coleópteros en la localidad aguas-abajo de las actividades mineras (Molina 2009).

El efecto de las actividades mineras sobre la integridad funcional de los ríos fue estudiado experimentalmente utilizando hojarasca de *Ficus máxima* (Moraceae) como substrato (León 2009). Estos resultados mostraron un incremento de la tasa de descomposición de las hojas en las localidades aguas-abajo de la mina de carbón en relación a las localidades de referencia aguas-arriba. Estas mayores velocidades de descomposición se relacionaron con un incremento en la producción de hongos acuáticos, probablemente por el incremento de nutrientes en las localidades que recibían la influencia de la explotación carbonífera. La descomposición de hojarasca es uno de los procesos ecológicos más importantes en los ecosistemas fluviales y puede ser una herramienta para evaluar la integridad funcional de estos, ya que ofrece resultados relevantes a corto plazo sobre el funcionamiento del ecosistema acuático.

Estudios comparativos entre los años 1986-2001 ha estimado que en la cuenca alta del río Guasare se ha perdido 28,5 km²/año (-35%) de bosque siempreverde, mientras que en la cuenca baja la pérdida se estima en 9 km²/año (-39%), lo que permitió asignar

estos ecosistemas a la categoría En Peligro Crítico (Hernández-Montilla y Portillo-Quintero 2010). En un modelo en base a datos hidrológicos tomados desde 1978 a 1983, en donde se simulaba un 25% y 50% de deforestación en la cuenca del río Guasare durante un período de 20 años, se predijo una disminución de la producción de agua en el período de sequía entre un 8% y 21%, y un aumento en el período lluvioso entre 5% y 16%, incrementándose la producción de sedimentos en un 111% y 463%, con respecto a las condiciones iniciales (Finol 1997). La deforestación del hábitat original de las cuencas de los ríos Socuy, Guasare y Cachiri probablemente ha causado la pérdida de un número significativo de especies de fauna y flora silvestres que allí habitan. La reducción de la diversidad biológica tiene implicaciones para la conservación de especies y para la contribución que una especie en particular pueda tener sobre la provisión de servicios del ecosistema.

Río Palmar

La cuenca del río Palmar se ubica en la sección central-norte del territorio occidental del lago (Figuras 1 y 2). Es drenada por el río Palmar y por sus afluentes principales, los ríos Lajas, La Cañada y La Ge. El río Palmar presenta una longitud de 210 km y su cuenca abarca los municipios Rosario de Perijá, Jesús Enrique Lossada y La Cañada de Urdeneta. Hidrográficamente, la cuenca del río Palmar queda limitada al noroeste por la cuenca del río Guasare-Limón, al noreste por la altiplanicie de Maracaibo, al sur por la cuenca del río Apón, al oeste por las riberas del lago y al oeste con divisorias de aguas que definen las cumbres de las Serranías de Valledupar en la línea limítrofe con Colombia (Espinoza 1987).

Los ríos Palmar, Lajas y Caño Pescado forman la represa El Diluvio o Tres Ríos (Figura 2), destinada para el consumo humano de la ciudad de Maracaibo y una aducción para la Villa de Rosario de Perijá y para el desarrollo agrícola de 20 mil hectáreas, con la creación de un sistema de riego en la planicie de Maracaibo. El área de la cuenca es de 2.758 km² y tiene una forma de una semicircunferencia alargada de oeste a este, seccionando todo lo ancho de la parte territorial occidental del Lago y presentando hacia el norte la parte arqueada del semicírculo. Gran parte de la cuenca media y la casi totalidad del cuenca baja del río Palmar constituyen zonas de gran actividad agropecuaria y un creciente uso urbano de la tierra. La cuenca del río Palmar está cubierta en gran parte de su extensión por bosques con múltiples unidades de vegetación. Se encuentran varios tipos de bosques a lo largo de su gradiente altitudinal que

van, desde bosques ombrófilos basimontanos estacionales y bosques ombrófilos submontanos, hasta montanos siempreverdes sobre las laderas, y ecosistemas arbustivos y herbáceos abiertos, tipo páramo en los pisos superiores (Ewel & Madriz 1976). Según Bowen (1972), la litología predominante de esta unidad, es de calizas gruesas y macizas, conchíferas y oolíticas, que varían desde calizas granulares conchíferas de grano grueso, con abundantes restos fósiles, hasta lodoletas calcáreas finas, las cuales al microscopio, muestran restos orgánicos indeterminables. En la base de la formación hay calizas oolíticas, con color de negro a gris oscuro y gris claro en la parte superior; por debajo muestran todos los tonos de gris, pardo grisáceo, rosado grisáceo o pardo rojizo. En dos niveles de la parte media de la formación abunda la feldspato pardo-oscura a negra.

Existen pocos estudios disponibles acerca de las características limnológicas de este río. En un inventario sobre la ictiofauna del río Palmar realizado como línea base previa a la construcción del embalse El Diluvio, se hacen algunas descripciones físico-químicas que, aunque puntuales, permiten conocer algunas características físicas, químicas y biológicas de este curso de agua (Casler et al. 1990). Así, existen diferencias en las características físico-químicas del río Palmar entre las localidades ubicadas en el piedemonte de la Sierra de Perijá (a más de 100 msnm) con respecto a las localidades situadas hacia la planicie, lo que genera un gradiente altitudinal muy suave hasta la desembocadura en el Lago de Maracaibo. En relación al caudal, los valores promedios en la zona del piedemonte (10,6 m³/s) son un poco más altos que los de la zona media (9,51 m³/s), pero ambos valores son considerablemente más elevados que los registrados en la desembocadura (5,62 m³/s). Los valores reportados para el caudal promedio anual y el volumen de escurrimiento anual son de 28 m³/s y 928 Mm³/año (Tabla 1) (MARNR 1982, 2006). La disminución en el caudal se debe probablemente a la extracción de agua mediante numerosas tomas o estaciones de bombeo de las haciendas agropecuarias ubicadas hacia las márgenes de este río a lo largo de su trayecto medio y bajo. En general, las aguas del río Palmar presentan a lo largo de su curso un pH básico (pH promedio 9,2) y concentraciones altas de oxígeno disuelto (alrededor de 7,0 mg/l) que reflejan una significativa capacidad de autopurificación. La temperatura del agua incrementa hacia las partes más bajas de la corriente, registrándose un promedio de 25,2 °C para las aguas del piedemonte y de 27,7°C para la desembocadura. Según los resultados obtenidos, existen aportes de nutrientes desde aguas-arriba



Figura 2. Los ríos en la costa occidental del Lago de Maracaibo. (a) Río Limón ya en las planicies asociadas con las lagunas costeras, en las cercanías de la población de Sinamaica. (b) Caño Carichuano, tributario intermitente del río Guasare. (c) Río Palmar en su cuenca baja (municipio Rosario de Perijá), nótese la cantidad de sedimentos en suspensión. (d) Embalse Los Tres Ríos o Diluvio, el cual recibe las aguas de los ríos Palmar y Lajas, así como el caño Pescado. (e) Río Apón en las planicies (municipio Machiques de Perijá). (f) Río Yasa en el piedemonte de la Sierra de Perijá, este es un tributario del río Santa Ana.

de la zona alta del río que tienden a incrementarse hacia la zona baja. Los valores de fósforo total y nitrógeno total en la desembocadura promediaron 5,4 mg/l y 9,7 mg/l, respectivamente. Estos valores resultaron más elevados al compararlos con los reportados para el periodo 1974-1976 donde el río Palmar presentó un promedio de fósforo total de 0,90 mg/l y de nitrógeno total de 1,01 mg/l (Parra, 1979). Los valores de P total sobrepasan los límites establecidos para aguas no contaminadas, lo cual puede estar relacionado con la intensa actividad agropecuaria en la zona (Rivas et al. 2009).

En el estudio de Casler et al. (1990) se recolectaron un total de 47 especies de peces ubicadas en 20 familias, entre éstas, las más representativas fueron Characidae con diez especies, Loricariidae con 13 especies y Pimelodidae con seis especies. Las cinco especies más abundantes fueron: bocachico (*Prochilodus reticulatus*), corroncho (*Lasiancistrus maracaiboensis*), sardina (*Astyanax magdalena*), sardina (*Astyanax fasciatus*) y bagre pintado (*Pimelodus coprophagus*). En registros previos (Schultz 1949, Andrade 1984, Taphorn y Lilyestrom 1984) se han registrado otras 16 especies no inventariadas por Casler et al. (1990), por lo que en total se conocen 63 especies para la cuenca del río Palmar. Los géneros *Doraops zuloagai*, *Creagrutus maracaiboensis* y *Saccoderma melanostigma*, presentes en el río Palmar, han sido reportados como endémicos para la cuenca del Lago de Maracaibo.

Según Hernández-Montilla (2010) los hábitats terrestres de la cuenca de los ríos Lajas y Palmar del estado Zulia se encuentran en la categoría de riesgo Vulnerable (VU), con un porcentaje de la reducción de la cobertura de 35%. Sin embargo, actualmente enfrentan tasas de conversión de hábitat lo suficientemente altas para catalogarlos dentro de la categoría de En Peligro Crítico (CR). Se observó una gran expansión de la agricultura comercial en terrenos ocupados por bosques maduros densos del área de estudio. El principal rubro comercial observado estuvo representado por el cultivo del ocumo o malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) cultivado por los campesinos que han migrado a la zona desde Colombia por su cercanía a la Sierra de Perijá, lo que podría estar incrementando en gran medida la presión sobre el ecosistema debido al uso extensivo y al cambio del uso de la tierra. Además, se observaron en menor medida cultivos de subsistencia como frutales, plátano y café.

Por otra parte, pudo observarse con claridad el incremento en la tasa de conversión de hábitats en los últimos cinco años (2002-2007) en comparación con la tasa obtenida para los primeros 13 años (1989-2002). El estado de conservación de los bosques de

la cuenca de los ríos Lajas y Palmar del estado Zulia catalogados como hábitats amenazados En Peligro Crítico, demuestra la prioridad que esta zona protectora del embalse Tres Ríos debe representar para los entes encargados de la toma de decisiones, así como también de la vigilancia y control del mismo, que se debe asegurar en los años venideros como respuesta a las crisis que se están presentando en la actualidad, aleccionando a los entes gubernamentales sobre la prioridad que deben ejercer sobre la conservación de las zonas boscosas remanentes en el estado Zulia para conservar su biodiversidad y el buen funcionamiento de sus servicios ambientales.

Río Apón

El río Apón es el eje principal de la red hidrográfica que drena la faja territorial que se extiende desde la zona fronteriza con Colombia, en el área de transición de las montañas que forman las Sierras de Valledupar y la de Los Motilones, ubicados al oeste hasta el este sobre las orillas del Lago (Figuras 1 y 2). La cuenca del río Apón abarca un área de 1.721km² y tiene un recorrido de 150 km desde la Sierra de Perijá hasta su desembocadura en el Lago de Maracaibo. Su cuenca está limitada hidrográficamente al norte por la cuenca del río Palmar y al sur por la cuenca del río Santa Ana. El área drenada por el río Apón tiene forma de un rectángulo alargado y deformado en el lado inferior de la sección suroriental donde la línea se inclina a la derecha y hacia abajo, y por tanto posee allí mayor altura y amplitud que la correspondiente sección occidental del rectángulo. La cuenca alta se ubica en el área montañosa, entre las sierras de Los Motilones y la de Valledupar; en este sector recibe las aguas de tres afluentes principales y de varios cursos de agua pequeños y permanentes, los cuales en conjunto drenan el avenamiento intramontano de la margen derecha y por la izquierda la red de drenaje es más corta y menos densa. La cuenca media comprende el área de las vertientes ubicadas en el piedemonte de la Sierra de Perijá y en este sector recibe por su margen izquierda las aguas de los ríos Aponcito, Maicota, Los Motilones, el río Cogollo y sus tributarios el Cuibas y río Piche. La cuenca baja se ubica al centro de las llanuras occidentales y en este sector el drenaje básicamente se efectúa a través de la cañada La Gorda (Espinoza 1987).

En la sierra de Perijá, la unidad basal (Miembro Tibú) consiste en calizas gruesamente estratificadas; localmente pueden ser duras, densas y muy fosíferas, interestratificadas con cantidades subordinadas de lutitas gris oscuro, calcáreas y margas (Sutton 1946). Las capas de dolomita son más abundantes

hacia la base. El Miembro Guáimaro es un intervalo de lutitas dolomitizadas y lentes de limolita, donde existen concreciones tipo La Luna. El Miembro Machiques constituye un horizonte guía con calizas nodulares, a veces muy bituminosas, de color oscuro y lutitas ricas en foraminíferos pelágicos. El Miembro Superior (Piché) es muy parecido a Tibú, con una gran proporción de calizas fosilíferas tipo “packstone”, con abundantes restos de moluscos muy recristalizados (Sutton 1946). Se disponen de muy pocos datos sobre las características limnológicas del río Apón, pero debido a la cercanía y la similitud climática, geológica y geomorfológica con el río Palmar, inferimos que debe compartir gran parte de las características limnológicas con éste.

En el período 1974-1976 este río presentó un caudal de 4,0 m³/s con una concentración de N y P totales de 0,67 y 0,65 mg/l, respectivamente. Para el año 1987 el caudal fue de 2,3 m³/s, con concentraciones de 3,25 y 0,19 mg/l de N y P total, respectivamente (Parra 1979, ICLAM 1987). Al comparar los dos períodos de muestreo se observa que los valores de nitrógeno total se han incrementado cinco veces, mientras que el caudal ha disminuido en un 58% y el fósforo en un 29%, con relación al período 1974-1976. Estos cambios son atribuidos a la intensa actividad agropecuaria que se desarrolla en la zona (Rivas et al. 2009). El caudal promedio anual es de 32 m³/s y el escurrimiento total anual es de 845 Mm³/año (Tabla 1) (MARN 1982, 2006).

La condición de conservación de la cuenca alta del río Apón conjuntamente con las cuencas alta de los ríos Palmar, Lajas y Guasare fueron estudiadas por Hernández-Montilla y Portillo-Quintero (2010), quienes indicaron que en el año 1989, el área de las cuencas altas presentaba 1.418 km² de cobertura de bosques. Entre 1989 y 2002, los bosques disminuyeron 275 km², lo que representa una pérdida de 12,48% de la cobertura original. En 2007, la deforestación eliminó 238 km² más, es decir, una pérdida de 13,57%, para finalmente alcanzar 35% de reducción de la cobertura original, es decir, 513 km² eliminados. Entre 1989 y 2002, la tasa promedio de conversión de hábitat fue 21 km²/año, mientras que entre 2002 y 2007 aumentó 47 km²/año. Para todo el período, desde 1989 hasta 2007, la tasa promedio fue 28 km²/año. Según las cifras presentadas en los bosques de las cuencas altas de los ríos El Palmar, Lajas, Guasare y Apón fueron asignados a la categoría de Peligro Crítico (CR).

Río Santa Ana

Se ubica entre la cuenca del río Apón al norte y la cuenca del Catatumbo al sur (Figura 1 y 2). La cuen-

ca del río Santa Ana ocupa todo lo ancho del área situada al sur de la zona occidental del lago y cubre un área de 2.154 km² (Tabla 1). La cuenca tiene la forma de un trapezoide cuyos lados más cortos limitan al este con el litoral lacustre y al oeste con la frontera internacional entre Venezuela y Colombia. El río Santa Ana tiene sus nacientes en las montañas del Mene, en la Sierra de Los Motilones y recibe la denominación de río Lora a todo lo largo de su tramo intramontano (Espinoza 1987). El colector principal y eje de la red del drenaje hidrográfico lo constituye el río Lora-Santa Ana. El tramo que atraviesa las llanuras surorientales de Perijá es conocido como el río Santa Ana. Tiene una longitud aproximada de 104 km y desemboca al lago a través de dos tributarios principales, Caño Negro y río Concepción, el cual desagua en las Ciénagas de Juan Manuel. Está irrigado en su vertiente norte por cuatro afluentes, río del Norte, río Aricuaizá, río Santa Rosa y el río Negro, cada una de estas subcuencas están drenadas por numerosos cursos menores. En la vertiente sur, la parte occidental es pobre en avenamientos y la parte oriental es indefinible como red puesto que colinda con las extensas planicies cenagosas de Juan Manuel, las cuales están permanentes inundadas. El uso de la tierra se caracteriza por una intensa actividad agropecuaria y, en menor extensión, agrícola. El caudal promedio anual es de 306 m³/s y el volumen escurrido total es de 3.359 Mm³/año (Tabla 1) (MARNR 1982, 2006).

La tasa de deforestación es de intermedia a alta (> 2,5%/año) en el piedemonte de los ríos Apón y Santa Ana (Portillo-Quintero et al. 2012). Datos puntuales de variables físicas y químicas en seis tributarios (Tokuko, Tres Pozos, Baltazar, río Negro, Sukumo y Tutayo) de la cuenca media y tributarios de los ríos Santa Rosa y Negro, ambos afluentes al cauce principal del río Santa Ana, muestran buenas condiciones de oxigenación (> 10 mg/l), aguas de ligeramente ácidas a alcalinas (pH = 6,11-9,16) y con moderada a alta mineralización (conductividad de 93-176 µS/cm). Se encontraron valores elevados de ortofosfatos (19 y 44 mg/l) y los valores de dureza oscilaron entre 42 y 75 mg/l CaCO₃ (Rincón y Pirela, datos no publicados).

La evaluación de la calidad de las aguas mediante el índice BMWP mostró que solo el río Negro tenía la categoría de excelente calidad y poca intervención, el resto fueron asignadas a la categoría de buena o regular calidad e intervención moderada a importante (Rincón y Pirela, datos no publicados). Estos resultados demuestran la influencia de la remoción de la cobertura vegetal, el incremento de las actividades agropecuarias, agrícolas y el crecimiento urbano

en el piedemonte perijanero y que se expresa con cambios físicos, químicos y biológicos del hábitat fluvial.

Río Catatumbo

El río Catatumbo se inicia en las montañas de la Sierra de Ocaña en el departamento del Norte de Santander en Colombia y desemboca al Lago de Maracaibo (Figura 1). Del lado venezolano, el río Catatumbo inicia su recorrido en las inmediaciones al sitio de confluencia que hace con las aguas de río Oro y desde allí discurre siniuosamente a todo lo largo de sus 450 km de longitud. La cuenca conforma un área de 25.565 km² de territorio compartido entre Colombia y Venezuela, de los cuales un 76,5% de la superficie de la subcuenca se ubican en la cuenca alta y parte de la cuenca media en territorio colombiano (IGAC 2003). Por otro lado, parte de la cuenca media y toda la región de la planicie de inundación en la cuenca baja (Parque Nacional y Reserva de Fauna Silvestre Ciénagas de Juan Manuel, Aguas Blancas y Aguas Negras), corresponde a territorio venezolano y ocupan un 23,5% de la cuenca en el estado Zulia. El clima es subhúmedo a húmedo con precipitaciones que varían entre 1.000 y 4.500 mm anuales. En las cuencas media y baja la temperatura es alta todo el año, con un promedio de 27,8 °C anual.

Hidrográficamente se encuentra ubicado entre la cuenca del río Santa Ana al norte y la del río Escalante al suroeste y al este. El área de la cuenca presenta una forma cónica que a manera de cuña, se orienta desde su base en dirección suroeste-noreste hasta el lago. La vertiente norte en su extremo occidental está drenada por un pequeño conjunto de redes menores y el sector oriental por un drenaje indefinible de áreas que ocupan las ciénagas de Juan Manuel. La vertiente sur presenta una red sumamente densa, compuesta por dos colectores principales, la del río Tarra o Sardinata y sus tributarios los ríos Socuavo del Norte y Socuavo del Sur, ambos con nacientes en territorio colombiano, y la vertiente del río Zulia compuesta por varios tributarios de los cuales el Guaramito, el Lobaterita y el río La Grita tienen sus nacientes en el territorio nacional y el río Pamplonita en Colombia (Espinoza 1987). El caudal promedio anual es de 633 m³/s y el escurrimiento medio anual es de 4.846 Mm³/año (Tabla 1) (MARNR 1982, 2006).

El diagnóstico de la vegetación de ribera de la cuenca media del río Catatumbo (Soto et al. 2006) señala una alta perturbación presente en la planicie aluvial donde se observa la degradación de ecosistemas complejos y bien estructurados hasta simples

pastizales, los cuales son explotados en el rubro de la ganadería intensiva, principal actividad económica de la zona. Los bosques ribereños han sido transformados y fragmentados, llegando a formar un “agropaisaje” dominados por una matriz de potreros y cultivos anuales, ocasionando la reducción del bosque ribereño a pequeños parches, franjas muy angostas de bosques o árboles dispersos (Soto et al. 2006).

Probablemente el grupo biológico mejor conocido en la cuenca del río Catatumbo son los peces ya que ha sido objeto de varios inventarios. Uno de los primeros esfuerzos por caracterizar la riqueza íctica de la subcuenca del río Catatumbo en el sector venezolano fue realizado por Andrade (1984) donde se señalan 29 especies para los ríos Catatumbo y sus afluentes, los ríos Zulia, Tarra, Socuavó y Táchira. Campo (1999) y Campo y Quijada (2001) reportan 60 especies para la cuenca baja (canal principal, ciénagas y desembocadura del Catatumbo). Posteriormente, en el sector colombiano se registraron inicialmente 84 especies dulceacuícolas (Rodríguez et al. 1996, Galvis et al. 1997) y se incrementó a 101 especies con la revisión de material de colecciones ictiológicas (Mojica 1999). Un listado más actualizado de la ictiofauna de la subcuenca del río Catatumbo es realizado por Ortega-Lara et al. (2012). Este trabajo integró la revisión de literatura, colecciones biológicas y realización de muestreos complementarios. Se reportan 123 especies, de las cuales 109 son nativas de agua dulce y 14 de origen marino y estuarino que habitan la subcuenca del río Catatumbo, constituyéndose en el sistema con mayor diversidad de especies de peces de la cuenca del Lago de Maracaibo. De las 123 especies registradas, 69 fueron capturadas y catalogadas como resultados de los muestreos durante ese estudio. Para el río Catatumbo se registraron 61 especies de las 68 consideradas endémicas para la cuenca del Lago de Maracaibo y se establecieron como especies pesqueras 40, de las cuales seis fueron marino-estuarinas y 34 dulceacuícolas. Inventarios recientes que se realizaron utilizando muestreos en localidades de la porción venezolana en el río Catatumbo, sus principales tributarios y en la zona de desembocadura reportan un total de 41 especies agrupadas en cinco órdenes y 21 familias (Sanquiz et al 2006, Martínez-Leones et al. 2012). Diferencias en la estación del año, técnicas y esfuerzo de los muestreos, pueden explicar las diferencias encontradas entre estos estudios. De esta revisión y análisis se desprende que la riqueza de 123 especies encontrada en el trabajo de Ortega-Lara et al. (2012), sitúa al río Catatumbo como el sistema con mayor diversidad de peces en la cuenca del Lago de Maracaibo.

La fauna silvestre de la cuenca baja y humedales formados en la zona de desembocadura al Lago de Maracaibo han sido caracterizadas por Pirela et al. (2006). Se identificaron un total de 159 especies de vertebrados asociados al medio acuático. Las aves estuvieron mejor representadas con 123 especies (77,4%), seguida por los reptiles con 18 especies (11,3%), los mamíferos con 10 especies (6,3%) y los anfibios con 8 (5,0%). Este tipo de estudio es muy escaso y poco disponible en la literatura; sin embargo son muy útiles para conocer la biodiversidad del humedal costero más grande de la cuenca del Lago de Maracaibo que está conformado por el Parque Nacional y Reserva de Fauna Silvestre “Ciénagas de Juan Manuel de Aguas Blancas y Aguas Negras”. De igual manera se evidencia la importancia para la conservación de estos humedales como hábitat natural para un gran número de especies, tanto acuáticas como terrestres, promoviendo una alta biodiversidad y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos.

La cuenca del río Catatumbo es rica en recursos naturales renovables y no renovables, con una gran oferta de servicios ambientales como agua, bosques y biodiversidad. Sin embargo, la integridad ecológica del ecosistema fluvial es amenazada por una diversidad de actividades antrópicas que ocurren tanto en el lado colombiano como venezolano, entre estas destacan el vertimiento de aguas residuales y residuos sólidos de origen doméstico e industrial, deforestación, erosión, sedimentación, actividades petroleras, minería de carbón, cultivos (arroz, palma aceitera, plátano, pastos), ganadería, uso masivo de plaguicidas, biocidas y fertilizantes, extracción de agua, dragado, construcción de embalses, diques y canales, e introducción de especies exóticas, entre otras (Colonnello y Lasso-Alcalá 2011).

III. INTERVENCIÓN, TENDENCIAS Y VALORACIÓN SOBRE EL ESTADO DE CONSERVACIÓN

Un aspecto importante que se destaca a partir de la evaluación realizada a las cuencas hidrográficas de la costa occidental del Lago de Maracaibo es la baja cantidad de información generada sobre estos hidrosistemas, a pesar de su importancia para el suministro de agua y recursos acuáticos para la región zuliana y el país. La mayoría de la información permanece como literatura “gris” en forma de tesis de grado e informes técnicos, mientras que pocos trabajos científicos han sido publicados en revistas especializadas. No existe en ningún caso un monitoreo continuo de estos sistemas o la información no está disponible a la comunidad científica. Existe una carencia alarmante de datos hidrometeorológicos,

fundamentales para la elaboración de estudios y modelos que dirijan la evaluación de riesgos y la toma de decisiones ante eventos meteorológicos. Esto permite afirmar que existen muchos vacíos de información que deben ser subsanados para poder mejorar los niveles de análisis y realizar propuestas efectivas para el manejo y conservación de estas cuencas.

En términos de intervención humana podemos señalar que las cuencas hidrográficas de la costa occidental del Lago de Maracaibo comparten en gran medida los efectos de las actividades humanas que desde tiempos históricos se vienen desarrollando en estos territorios. Entre estas tenemos la deforestación y transformación de la cobertura vegetal, el vertido de aguas residuales y residuos sólidos de origen doméstico e industrial, actividades petroleras, minería de carbón, cultivos agrícolas de diferentes rubros, ganadería, introducción de contaminantes y fertilizantes, extracción de agua y materiales pétreos, dragado, construcción de embalses, introducción de especies exóticas, entre otras. Estos eventos también ocurren en los tributarios andinos en la costa oriental del lago (Segnini y Chacón 2017). Esta intervención antrópica tiene profundos y variados efectos sobre la integridad ecológica de estos ecosistemas fluviales, particularmente en las zonas de las cuencas medias y bajas, aunque más recientemente también se afectan las cuencas altas. La deforestación y conversión de bosques en pastizales ha eliminado una gran extensión de bosques de ribera en los ríos de la costa occidental, ocasionando una modificación importante de la estructura del hábitat lótico y con ello de su funcionamiento. Las tierras bajas de la subcuenca del río Catatumbo y las regiones submontanas de las subcuencas de los ríos Apón y Santa Ana son puntos focales de una alta deforestación (>2,5% anual) (Portillo-Quintero et al. 2012).

Se conoce bien los efectos negativos que la deforestación en los trópicos tiene sobre la biodiversidad (Whitmore y Sayer 1992) y para el balance global del carbono (Houghton et al. 1983). La pérdida de la cobertura vegetal incrementa la producción de agua y sedimentos (Brujinzeel y Bremmer 1989), resultando en elevadas escorrentías durante las precipitaciones, provocando la erosión de las riberas, el colapso de puentes y carreteras y la destrucción de los hábitats. Estos eventos ocurren en los ríos de la costa occidental del lago, como en al año 2011 cuando el aumento del nivel del agua en el embalse colapsó diques de la represa de Manuelote en el río Socuy y provocó serias inundaciones en poblaciones de la Guajira venezolana. Otra importante fuente de perturbación para los ríos de la costa occidental del

Lago es la extracción de agua para el riego de pastizales y cultivos, lo que ha provocado una disminución importante de los caudales tanto del curso de agua principal como de sus tributarios. Esta actividad es particularmente evidente en la cuenca de los ríos Guasare-Limón, Palmar y Apón. Adicionalmente, la disminución de las tasas de infiltración producto de la eliminación de la cubierta forestal provoca un impacto hidrológico importante expresado en la disminución de los caudales (Allan 2004). Esta situación sumada a eventos de sequías prolongadas y a la disminución de las precipitaciones ocasionadas por el fenómeno del Niño y el cambio climático, agudizan esta situación y ha ocasionado con bastante frecuencia serios déficits del suministro hídrico para la ciudad de Maracaibo y otras regiones del estado Zulia.

A escala mayor, incluyendo las principales cuencas de la costa occidental del Lago de Maracaibo, podemos identificar a la actividad ganadera en primer lugar, y secundariamente la agrícola, como la del mayor porcentaje del uso de la tierra en estos territorios (OEA 1975, Tachack-García et al. 2010, Portillo-Quintero et al. 2012). El uso agropecuario degradado al ecosistema fluvial incrementando las fuentes no puntuales de contaminantes, impactando la cubierta de ribera y el hábitat fluvial interno y alterando sus flujos (Allan 2004). El incremento del uso agropecuario de las tierras provoca una mayor entrada de sedimentos, nutrientes y pesticidas al agua (Lenat 1984, Osborne y Wiley 1988, Cooper 1993, Johnson et al. 1997). Aun cuando existen pocos datos para documentar la mayoría de estos efectos, la información disponible permite afirmar que muchos de estos impactos se presentan en mayor o menor grado en la mayoría de los ríos de la costa occidental del Lago. Todo lo anterior nos permite categorizar a estos ecosistemas como severamente amenazados. No obstante, se hace necesario estudios que permitan evaluar la condición ecológica tanto desde un punto de vista estructural como funcional.

En escala local, los efectos del uso agropecuario interactúan con otros usos, como el minero (caso cuenca del río Guasare-Limón), donde se identifican otros impactos como la introducción de sedimentos y de agentes químicos contaminantes, como sulfatos y metales pesados, además de la alteración local de los hábitats fluviales y los bosques ribereños. Es así como el impacto sobre un sistema fluvial por lo general resulta de la combinación de impactos ocasionados por varios usos de la tierra en la cuenca.

La integridad ecológica, la condición o la salud del río son términos que describen el estado de los ecosistemas fluviales y sus respuestas a las influencias

humanas (Allan 2004). Básicamente, el intervalo de condiciones desde prístinas a profundamente impactadas refleja la respuesta integrada de varias perturbaciones humanas que actúan a través del espacio físico en los diferentes niveles jerárquicos de la cuenca, sobre duraciones cortas (pulsos) y largas y con influencia en cascada a través de la estructura del hábitat local y de las interacciones en la trama trófica (Townsend y Riley 1999, Quinn 2000). Una herramienta que puede ser útil para medir la condición ecológica de estos ecosistemas fluviales es el uso de respuestas biológicas (Segnini 2005, Segnini y Chacón 2017). Al momento se han adelantado algunos esfuerzos en la cuenca del río Guasare y del río Santa Ana y los resultados han sido satisfactorios en cuanto a la capacidad de las distintas respuestas biológicas para conocer el estado de alteración del hábitat fluvial, tanto a una escala local del tramo del río como de la cuenca. En este sentido se hace necesario la implementación de sistemas de evaluación biológica adaptados a las condiciones locales y tomando en cuenta las tolerancias fisiológicas de la biota local.

A la escala de la cuenca el restablecimiento del uso de la tierra a estados anteriores es imposible, de tal modo que el mejoramiento de la condición del ecosistema fluvial va a depender de mejorías en las prácticas de manejo (MPM) y en el manejo y diseño del paisaje (Allan 2004). Algunas de estas actividades se pueden realizar a escala de la cuenca, como la reducción del uso de fertilizantes, conservación de la labranza, entre otros. Otras prácticas son más próximas al río, como el mantenimiento de los corredores ribereños, manejo de humedales o exclusión del ganado. Existen reportes donde el empleo de mejores prácticas de manejo de las cuencas beneficia la condición del río mejorando las variables físicas y químicas, incluyendo hábitats, nutrientes, sedimentos y turbidez (Lowrance et al. 1997, Wissmar y Beschta 1998, Strand y Merritt 1999, Caruso 2000, D'Arcy y Frost 2001). Son necesarios estudios en este sentido para determinar si la biota responde al mejoramiento en la condición física del río.

LITERATURA CITADA

- Allan, J. D. 2004. Landscapes and Riverscapes: The Influence of land use on Stream ecosystems. *Annual Review Ecology, Evolution and Systematic*. 35: 257-84.
- Andrade, G. J. 1984. *Un primer aporte al estudio del efecto humano sobre la fauna de peces de la cuenca del Lago de Maracaibo*. Trabajo Especial de Grado, Facultad Experimental de Ciencias, Universidad del Zulia, Maracaibo. Venezuela.
- Bello, C. L. 1985. *Consideraciones ecológicas de los caños de la Región Carbonífera del Guasare, Estado Zulia*. Ediciones Facultad Experimental de Ciencias, Maracaibo, Venezuela.
- Bowen, J. M., 1972. Estratigrafía del Precretáceo en la

- parte norte de la Sierra de Perijá. En: *Memorias del IV Congreso Geológico Venezolano*, Caracas, 1972, 2: 729-760.
- Brujinzeel, L. A. y Bremmer, C. N. 1989. Highland-lowland interactions in the Ganges Brahmaputra River Basin: a review of published literature. *Occasional paper* 11. International Centre for Integrated Mountain Development, Kathmandu, Nepal.
- Campo, M. 1999. *Inventario de la ictiofauna de las reservas de fauna silvestre de Juan Manuel de aguas blancas y aguas negras, estado Zulia. Aspecto sobre sus pesquerías y situación ambiental*. Proyecto 98 VEN 403-UNESCO. Informe técnico Maracay. Dirección General de Fauna Acuática. MAR-NR. Caracas, Venezuela.
- Caruso, B. S. 2000. Comparative analysis of New Zealand and US approaches for agricultural nonpoint source pollution management. *Environmental Management*. 25: 9-22.
- Casler, C. L., González, E., Romero, M., Toledo, J. y Brito, J. M. 1990. Inventario de la ictiofauna del río Palmar y afluentes, estado Zulia, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*. 24: 1-50.
- Cooper, CM. 1993. Biological effects of agriculturally derived surface water pollutants on aquatic systems -a review. *Journal of Environmental Quality*. 22: 402-408
- D'Arcy, B. y Frost, A. 2001. The role of best management practices in alleviating water quality problems associated with diffuse pollution. *Science of the Total Environment*. 265: 359-367.
- Escobar, M. E. y Martínez, M. 1993. Los depósitos de carbón en Venezuela. *Interciencia* 18(5): 224-229.
- Espinoza, A. 1987. *Sinopsis fisiográfica de la Región Zuliana*. Trabajo de Ascenso. Universidad del Zulia. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Escuela de Economía. Maracaibo. .
- Ewel, J. R. Jr.; Madriz, A. y Tosi, J. A. 1976. *Zonas de Vida de Venezuela*. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 2da edición. Caracas.
- Ferrer, O. 1983. *Metabolismo del Caño Carichuano (Guasare, Edo. Zulia)*. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ciencias. Universidad del Zulia.
- Finol, S. 1997. *Validación del modelo hidrológico SWRRB: producción de agua, sedimentos y precipitación, en la Cuenca del Río Guasare-Estado Zulia*. Tesis de Maestría. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado, Mérida.
- Galán, C. y Herrera, F. 2017. Ríos subterráneos y acuíferos kársticos de Venezuela: inventario, situación y conservación. Capítulo 7. (pp: 153-171). En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.). *Ríos en riesgo de Venezuela. Vol. I. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela*. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Galvis, G., Mujica J. y Camargo, M. 1997. *Peces del Catatumbo*. Ecopetrol- Oxy- Shell- Asociación Cravo Norte. D'vinni Editorial Ltda, Santafé de Bogotá. Colombia.
- Hernández-Montilla, M. C. 2010. *Estimación del riesgo de extinción de los hábitats terrestres de la cuenca de los ríos Lajas y Palmar del estado Zulia*. Trabajo Especial de Grado. Facultad Experimental de Ciencias, Universidad del Zulia. Maracaibo. Venezuela.
- Hernández-Montilla, M. C. y Portillo-Quintero, C. 2010. Conversión de los bosques del norte de la sierra de Perijá, Estado Zulia (pp: 257-262). En: Rodríguez, J. P., Rojas-Suárez, F., & Giraldo, D. (Eds.). *Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela*. Provita, Shell Venezuela, Lenovo (Venezuela). Caracas: Venezuela.
- Houghton, L. B., Hobbie, J. E., Melillo, J. M., Moore, B., Peterson, B. J., Shaver, G. R. y Woodwell, G. M. 1983. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: a net release of CO₂ to the atmosphere. *Ecological Monographs*. 53: 235-262.
- ICLAM (1987) *Informe sobre la Caracterización Efectuada a las Aguas del Río Apón*. Informe Técnico. ICLAM. Maracaibo, Venezuela.
- IGAC. 2003. *Atlas Básico de Colombia*, 5a edición. Imprenta Nacional de Colombia, Bogotá.
- Johnson, L. B., Richards, C., Host, G. E., Arthur, J. W. 1997. Landscape influences on water chemistry in Mid-western stream ecosystems. *Freshwater Biology* 37:193-208.
- Lenat, D. R. 1984. Agriculture and stream water quality: a biological evaluation of erosion control practices. *Environmental Management* 8: 333-43.
- León, E. 2009. *Efectos de la explotación carbonífera sobre el procesamiento de la hojarasca en el caño Carichuano, Guasare, Edo. Zulia*. Tesis de Maestría. Facultad Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia, Maracaibo. Venezuela.
- Lowrance R., Altier L. S., Newbold, J. D., Schnabel, R. R., Groffman, P. M., Denver, J. M., Correll, D. L., Gilliam, J. W., Robinson, J. L., Brinsfield, R. B., Staver, K. W., Lucas, W. y Todd, A. H. 1997. Water quality functions of riparian forest buffers in Chesapeake Bay watersheds. *Environmental Management* 21: 687-712.
- Martínez-Leones, T., Medina-Perozo, Zulamita, Espinoza-Pernía, J. G., Rodríguez, W. C. y Altuve, V. Inventario de peces del tramo inferior del Río Catatumbo, Estado Zulia, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*. 46(4): 333-456.
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Renovables. 1982. *Inventario de aprovechamientos hidráulicos en Venezuela. Región Lago de Maracaibo*. Caracas, Venezuela.
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Renovables. 2006. *Recursos Hídricos de Venezuela*. Fondo Editorial Fundambiente, Caracas, Venezuela.
- Mojica, J. I. 1999. Lista preliminar de las especies de peces dulceacuícolas de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 23 (Suplemento Especial): 547-565.
- Molina, L. E. 2009. *Algunos efectos de las características microambientales sobre la comunidad de insectos acuáticos (con especial énfasis en Dipteros) de una corriente intermitente tropical, afectada por la explotación de minas de carbón Guasare, Edo. Zulia. Venezuela*. Trabajo Especial de Grado. Facultad Experimental de Ciencias, Universidad del Zulia. Maracaibo. Venezuela.
- Organización de los Estados Americanos. 1975. Región Zulia -República de Venezuela- *Estudio para el aprovechamiento racional de los recursos naturales*. www.oas.org. Versión electrónica 06-09-2016.
- Ortega-Lara, A.; Lasso-Alcalá, O. M.; Lasso, C. A.; Andrade, G.; Bogotá-Gregory, J. D. 2012. Peces de la cuenca

- del río Catatumbo, cuenca del Lago de Maracaibo, Colombia y Venezuela. *Biota Colombiana*. 13(1): 71-98.
- Osborne, L. L. y Wiley, M. J. 1988. Empirical relationships between land use/cover and stream water quality in an agricultural watershed. *Journal of Environmental Management*. 26: 9-27.
- Parra, P. 1979. *Estudio Integral sobre la Contaminación del Lago de Maracaibo y sus Afluentes. Parte II. Evaluación del Proceso de Eutrofización*. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables. Caracas, Venezuela.
- Pirela, D., Urdaneta, A., Escola, F., Chacín, M., Rojas, J., Casler, C. y Rincón, J. 2006. Caracterización preliminar de la fauna vertebrada asociada a la cuenca baja del río Catatumbo, estado Zulia. *Ciencia*, 14 (Número Especial 2): 56-73.
- Pirela, R. y Rincón, J. E. 2013. Dieta del cangrejo dulceacuícola *Bottiella niceforoi* (Schmitt & Pretzmann, 1968) (Decápoda: Trichodactylidae) y su relación con el procesamiento de la materia orgánica en una corriente intermitente del noroeste de Venezuela. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 41(4): 696-706.
- Pomares, O. 1988. *Variación Estacional en los Hábitos Alimentarios de una Comunidad de Peces del Caño Carichuano (Corriente Intermitente) en la Región Carbonífera del Guasare*. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ciencias, Universidad del Zulia. Maracaibo. Venezuela.
- Portillo-Quintero, C. A., Sánchez, A. M., Valbuena, C. A., González, Y. Y., Larreal, J. T. 2012. Forest cover and deforestation patterns in the Northern Andes (Lake Maracaibo Basin): A synoptic assessment using MODIS and Landsat imagery. *Applied Geography*. 35: 152-163.
- Quinn J. M. 2000. Effects of pastoral development. (pp: 208-229). En: Collier, K. J. y Winterbourn, M. J. (Eds.) *New Zealand Stream Invertebrates: Ecology and Implications for Management*. Christchurch, New Zealand: Caxton.
- Rincón, J. E. 1994. Evaluation of coal mining impacts on water quality of a neotropical stream. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*. 25: 1847-1852.
- Rincón, J. E. 1996. *Análisis de la comunidad de insectos acuáticos en el caño Paso del Diablo (Guasare-Edo. Zulia)*. Tesis Doctoral. Universidad Central de Venezuela, Caracas. Venezuela.
- Rincón, J. E. 1997. *Análisis del Impacto de la explotación del carbón del Guasare (Edo. Zulia) sobre una Corriente Intermitente (Comunidad Bética)*. Trabajo de Ascenso. Facultad Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia. Maracaibo. Venezuela.
- Rincón, J. E. 1986. *Estudio del Arrastre (Drift) de Macroinvertebrados Bénticos en Caño Carichuano (Guasare-Edo. Zulia), Corriente Tropical Intermitente*. Trabajo Especial de grado. Universidad del Zulia, Facultad de Ciencias. Maracaibo. Venezuela.
- Rivas, Z., Sánchez, J., Troncone, F., Márquez, R., Ledo, H., Colina, M. y Gutiérrez, E. 2009. Nitrógeno y fósforo totales de los ríos tributarios al sistema Lago de Maracaibo, Venezuela. *Interciencia* 34: 308-314.
- Rodríguez, D., R. Restrepo, J. I. Mojica, V. Arellano, F. Quintero, J. Rodríguez, G. Rodríguez, I. Galindo, E. Abreu, N. García y Vilas, J. 1996. *Monitoreo biológico y químico de la cuenca del río Catatumbo*. ECOPETROL, INTEVEP y PDVSA. Colombia y Venezuela.
- Sánquiz, M., Ávila, H., Barrera, S. 2006. Composición de la comunidad ictiológica del Río Catatumbo y sus afluentes. *Ciencia* 14 (Número Especial 2): 101-108.
- Segnini, S. 2003. El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Ecotropicos* 16(2): 45-63.
- Segnini, S. y Chacón, M. M. 2017. El Chama: un río andino en riesgo. Capítulo 2. (pp: 29-58). En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.). *Ríos en riesgo de Venezuela. Vol. I. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela*. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Schultz, L. 1949. A further contribution to the ichthyology of Venezuela. *Proceedings of the United States National Museum*. 99: 1-211.
- Soto, M. N., Villarreal, A. y Molero, A. 2006. Caracterización de la cobertura vegetal ribereña de la cuenca media del Río Catatumbo, Estado Zulia, Venezuela. *Ciencia*. 14: 82-87.
- Strand, M. y Merritt, R.W. 1999. Impact of livestock grazing activities on stream insect communities and the riverine environment. *American Entomologist*. 45: 13-27.
- Sutton, F. A., 1946. Geology of Maracaibo basin, Venezuela. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. 30 (10): 1621-1741.
- Tachack-García, M. I., Carrasquel, F. y Zambrano-Martínez, S. 2010. Estado de amenaza de los ecosistemas al norte y sur del Lago de Maracaibo, estado Zulia. (pp: 250-256). En: Rodríguez, J. P., Rojas-Suárez, F., & Giraldo, D. (Eds.). *Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela*. Provita, Shell Venezuela, Lenovo (Venezuela). Caracas: Venezuela.
- Taphorn, D. C. y Lilyestrom, C. 1984. Claves para los peces de agua dulce de Venezuela: 1. Las familias de Venezuela, 2. Los géneros y las especies de la Cuenca del Lago de Maracaibo. *Revista UNELLEZ Ciencia y Tecnología*. 2(2): 5-30.
- Taphorn, D. C. y Lilyestrom, C. G. 1981. Los peces de importancia económica del área Guanare Masparro. *Informe preliminar. Proyecto: Estudio de Manejo Ambiental de la Región Guanare Masparro. Centro Interamericano de desarrollo integral de Aguas y Tierras*. OEA, MARNR, UNELLEZ, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Townsend C. R., Riley R. H. 1999. Assessment of river health: accounting for perturbation pathways in physical and ecological space. *Freshwater Biology*. 41: 393-405.
- Uribarri, P. A. y Rincón, J. E. 2010. Recolonización de macroinvertebrados bentónicos en una corriente intermitente del noroeste de Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*. 44(1): 63-82.
- Whitmore, T. C. y Sayer, J. A. 1992. Deforestation and species extinction in tropical moist forests. (pp: 1-14). En: Whitmore, T. C. y Sayer, J. A (Eds.). *Tropical deforestation and species extinction*. Chapman and Hall, London.

Capítulo 2

El Chama: un río andino en riesgo

Samuel SEGNINI y María Marleny CHACÓN

Laboratorio de Ecología de Insectos. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias.
Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
segninis@ula.ve, machacon@ula.ve

El río Chama está localizado en la Cordillera de Mérida y recorre 214 km desde su nacimiento hasta su desembocadura en el lago de Maracaibo. Su cuenca cubre una superficie de 3.785 km². Desde la colonia, las actividades humanas han deteriorado progresivamente los ambientes terrestres de la cuenca y sus cuerpos de agua. Por tal motivo, el objetivo de este trabajo es documentar el estado de conservación del río y sus afluentes. Se efectuó una exhaustiva revisión bibliográfica sobre el Chama y su entorno, que fue complementada con información de campo. La cuenca presenta dos grandes subunidades fisiográficas: la Cuenca Intramontana ubicada dentro de la Cordillera de Mérida y la Cuenca Lacustre, asentada sobre la Depresión del Lago de Maracaibo. La agricultura, la deforestación, la extracción excesiva de agua, el uso de biocidas y el cambio climático son los factores de mayor impacto sobre los ríos de la cuenca. Entre 1988 y 2001 la cobertura de bosques en la cuenca montaña disminuyó 42% y en la cuenca lacustre sólo quedan remanentes de 800.000 ha de bosque que existían en los años 40. El 70,5% de la oferta anual del agua superficial en toda la cuenca alta es utilizada en riego y uso doméstico. Hay problemas de escasez hídrica en el 76% de sus tierras. Algunos ríos están contaminados con plaguicidas. Los glaciares están por desparecer. Como consecuencia, el estado ecológico de la mayoría de los ríos de la cuenca es muy pobre. Es el Chama uno de los ríos que más contribuye a la eutrofización del lago de Maracaibo. Para revertir este deterioro es necesario lograr un uso sostenible de los recursos hídricos en un corto plazo. En estas acciones deben involucrarse las comunidades rurales y urbanas, los entes gubernamentales y no gubernamentales, el sector productivo y las instituciones académicas.

Palabras Clave: ríos andinos, estado ecológico, conservación, contaminación, biodiversidad, conflictos de uso, uso sostenible.

INTRODUCCIÓN

Los Andes en Venezuela están conformados por tres sistemas montañosos: la Sierra de Perijá, el Macizo de Tamá y la Cordillera de Mérida (Figura 1). Los dos primeros están unidos al cuerpo central de la Cordillera Oriental de los Andes de Colombia y su relieve está repartido entre Colombia y Venezuela, en tanto que la Cordillera de Mérida está claramente separada de la cordillera oriental por la depresión del Táchira y se encuentra por completo dentro de territorio venezolano. No obstante que la evidencia geográfica anterior demuestra concluyentemente que el paisaje andino venezolano lo conforman tres sistemas montañosos, en el contexto de este documento, se asociará la región andina venezolana a la Cordillera de Mérida.

La Cordillera de Mérida inicia su recorrido en la Depresión del Táchira, atraviesa los estados Táchira, Mérida y Trujillo para finalizar en la Depresión de Lara (Figura 1). Tiene una trayectoria orientada en dirección SO-NE que separa las tierras bajas de la depresión del Lago de Maracaibo al noroeste, de los Llanos Occidentales de Venezuela al sureste. Su longitud está cercana a los 470 km con un ancho aproximado de 80 km (Monasterio y Reyes 1980).

Presenta un amplio rango de altitud, que se extiende desde los 200 msnm en el piedemonte hasta los 5.000 msnm en sus cumbres más altas. Asociado a este rango de altitud existe un pronunciado gradiente térmico, con valores medios anuales que varían entre los 24 °C en las zonas más bajas del piedemonte hasta valores por debajo de los 0 °C en el páramo altiandino (Martelo 2003). Igualmente variable es la precipitación promedio, que en ciertos páramos llega a alcanzar valores mínimos de 300 mm/año en tanto que en algunas zonas medias de los flancos montañosos se registran valores máximos cercanos a los 4.000 mm/año (Martelo 2003). A esta variabilidad espacial de las precipitaciones, se une una marcada estacionalidad del régimen anual de lluvias, que muestra un patrón bimodal en el flanco montañoso orientado hacia la depresión del Lago de Maracaibo y un patrón unimodal en el flanco expuesto hacia los llanos occidentales (Monasterio y Reyes 1980). Esta complejidad topográfica, geológica y climática se expresa a través de una diversidad de pisos bioclimáticos que conforman franjas de altitud o unidades ecológicas con características ambientales particulares que pueden ser identificadas por el tipo de vegetación que las caracteriza. De acuerdo a Ata-

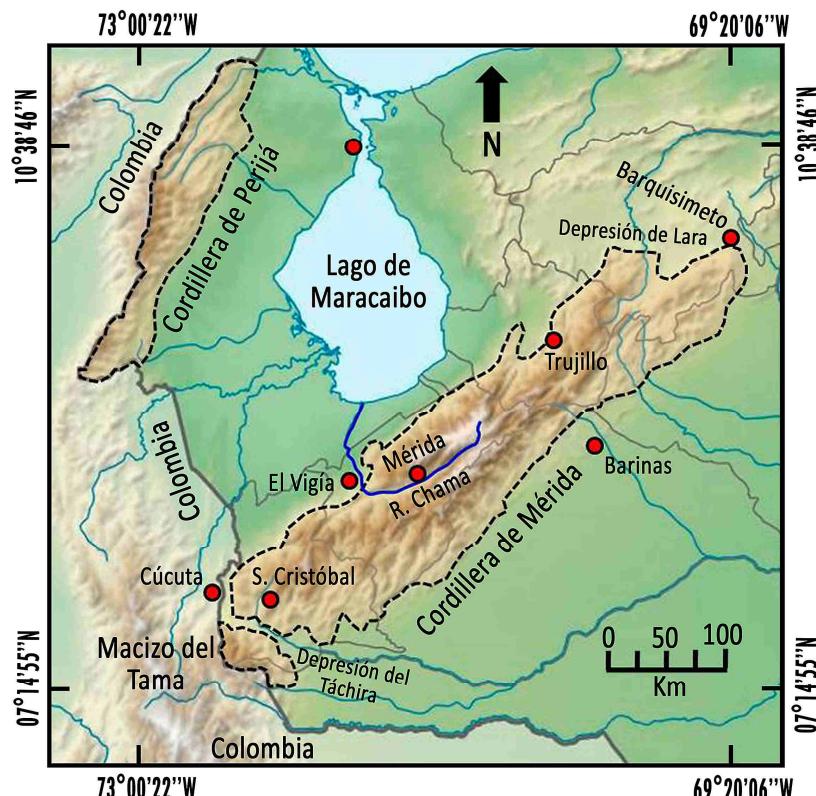


Figura 1. Ubicación geográfica de los tres sistemas montañosos que conforman Los Andes de Venezuela. Ver fuentes en el anexo.

roff y Sarmiento (2004), en las vertientes húmedas destacan las unidades ecológicas siguientes: selva húmeda submontana (150-800 msnm), selva sémica-ducifolia (800-1.700 msnm), selva nublada montano baja (1.700-2.200 msnm), selva nublada montano alta (2.200-3.000 msnm), páramo andino (3.000-4.300 msnm) y páramo altiandino (4.300-4.800 msnm). En las vertientes secas las selvas son sustituidas por el arbustal espinoso (500-1.800 msnm), el bosque siempreverde seco montano bajo (1.600-2.000 msnm) y el bosque siempre verde montano alto (2.000-2.700 msnm). Igualmente, siguen presentes, aunque a menor altitud que en las vertientes húmedas, el páramo andino (2.700-4.000 msnm) y el páramo altiandino por encima de los 4.000 msnm.

Otra característica relevante de esta región es su riqueza hídrica, especialmente en las unidades ecológicas de páramo y de selva nublada, unidades que funcionan como grandes reservorios naturales de agua por su capacidad de captar la escorrentía proveniente del deshielo de los glaciares y de las diferentes formas de precipitación (lluvia, llovizna, nieve, aguanieve y granizo) y de almacenarla en humedales como lagunas, turberas, ciénagas y pantanos. Además, los glaciares, páramos y selvas nubladas ejercen una función reguladora sobre el suministro de agua, al estabilizar los caudales de las corrientes superficiales y subterráneas que dan origen a manantiales, quebradas y ríos que son las vías fluviales por las cuales se transporta y distribuye el agua hacia las zonas circundantes y las tierras bajas (Monasterio y Molinillo 2003).

El impacto humano ha agregado mayor heterogeneidad al paisaje natural de los Andes por la acción de tres factores: el poblamiento, la agricultura y la expansión de las vías terrestres de comunicación (Goldstein et al. 2012). El efecto de la acción humana en los Andes no sólo se evidencia en los ambientes terrestres, sino también sobre los cuerpos de agua. Existe evidencia científica que demuestra la disminución de la calidad y disponibilidad del recurso hídrico. La escasez del agua se ha agravado tanto, que en las últimas décadas ha generado conflictos por su uso en varias zonas de las tierras altas de la cuenca del Chama (Naranjo y Duque 2004), otra vez una de las zonas del país con poco o ningún problema de abastecimiento hídrico. Entre los ambientes acuáticos andinos los ríos y sus cuencas hidrográficas han recibido mayor atención de estudio, como lo demuestra el apreciable número de publicaciones sobre el tema. Sin embargo, está información se ha concentrado en unas pocas cuencas, particularmente en la del río Chama, posiblemente por ser el territorio con la mayor densidad de población de los

Andes (Pulido 2011), donde por demás existen varios centros técnicos y de investigación cuyo interés de estudio son los ambientes naturales. Sin embargo, todavía hay muchos vacíos de información en distintas áreas, especialmente en el ámbito ambiental.

Considerando el poco conocimiento que existe sobre el estado de conservación que presentan los ríos andinos en Venezuela, y que la mayor parte de la información ambiental publicada es sobre el río Chama, el objetivo de este capítulo es documentar el estado de conservación de este río previendo que pueda servir como una referencia de comparación para futuros estudios sobre la condición ambiental de otros ríos de los Andes venezolanos que confrontan problemas similares. Para el logro de estos objetivos se efectuó una revisión exhaustiva de la información ambiental publicada sobre el río Chama, que se ha complementado con el aporte de información bioecológica obtenida por el personal del Laboratorio de Ecología de Insectos de la Universidad de Los Andes en más de dos décadas de investigación sobre los ambientes fluviales que conforman la cuenca de este río.

MÉTODOS

Gran parte de la información sobre los aspectos geográficos, geológicos, geomorfológicos, climáticos, estado de conservación, biodiversidad y datos socioambientales se obtuvo mediante una exhaustiva revisión de la bibliografía científica especializada. Se utilizaron imágenes satelitales (Google Earth Pro 2015) para estimar algunas variables geográficas como localización, altitud, áreas, distancias, la descripción del área de estudio, el recorrido del curso del río Chama y delimitar el área de la cuenca del Chama que es ocupada por los parques nacionales. Igualmente, los límites de la Cordillera de Mérida (Figura 1) se trazaron sobre un mapa de Venezuela obtenido del repositorio multimedia libre Wikimedia Commons. El mapa de la cuenca del río Chama (Figura 2) se construyó usando como figura base la publicada por Silva (1999), la cual se modificó diferenciando con colores los distintos compartimientos del mapa y reescribiendo los textos. Sobre este mismo mapa se delimitaron las áreas que ocupan los parques nacionales dentro de la cuenca. El perfil de unidades ecológicas que atraviesa el río Chama en su recorrido descendente (Figura 3) fue construido con información obtenida de la capa de unidades ecológicas del estado Mérida de Ataroff y Sarmiento (2003) que fue montada sobre la imagen satelital del estado Mérida (Google Earth Pro 2015). La información sobre precipitación y gasto del río Chama se obtuvo

de la base de datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) y las cifras demográficas del Instituto Nacional de Estadística (INE). Algunos datos sobre las características hidromorfológicas, fisicoquímicas y biológicas de los ríos provienen de información hasta ahora no publicada que forma parte de la base de datos científicos del Laboratorio de Ecología de Insectos de la Universidad de Los Andes, la cual fue cedida gentilmente por el personal de este centro de investigación.

ÁREA DE ESTUDIO

El río Chama, está localizado en el ramal nororiental de la Cordillera de Mérida en los Andes venezolanos, tiene una longitud total cercana a los 214 km y define una cuenca que tiene un área aproximada de 3.785 km² (ACIJ 1990) (Figura 2). Las nacientes del río están localizadas en el Páramo de los Buitres en la Sierra de la Culata del estado Mérida a más de 4.400 msnm (Silva 1999). El recorrido inicial de sus aguas ocurre dentro de la Sierra de La Culata en sentido noreste hasta llegar al Páramo Las Cruces (4.000 msnm), en donde su curso cambia en un ángulo algo menor a los 90 grados y se orienta hacia el sur hasta unirse con la quebrada El Águila (3.600 msnm). En este trecho inicial, el río se conoce cartográficamente como quebrada Mifafí (Figura 8A). Después de la unión con la quebrada El Águila, el río Chama, mantiene su trayecto hacia el sur sobre los terrenos del valle que separa la Sierra de La Culata al oeste, del cerro El Balcón al este, hasta llegar cerca del poblado de Apartaderos (3.400 msnm), habiendo recorrido hasta éste punto un total de 15 km desde su nacimiento. Aquí el río modifica su rumbo hacia el suroeste desplazándose sobre el valle formado por la convergencia de la Sierra de La Culata y la Sierra Nevada, hasta llegar después de unos 110 km de recorrido, a la población de Estanques (400 msnm), donde reorienta su curso hacia el norte y fluye unos 104 km hasta su receptor final el Lago de Maracaibo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1) Geología y relieve de la cuenca del río Chama
 La cuenca del río Chama se puede dividir en dos grandes subunidades: una sección que en lo sucesivo se denominará cuenca intramontana por estar totalmente enclavada dentro de la Cordillera de Mérida y una sección que se identificará como cuenca lacustre por estar asentada sobre la Depresión del Lago de Maracaibo.

1.1) Cuenca Intramontana

La mayor parte de la cuenca intramontana del río Chama sigue la traza principal de la Falla de Boconó,

surco tectónico-fisiográfico que con una disposición axial longitudinal y orientación SO-NE atraviesa la Cordillera de Mérida en toda su extensión. Sobre esta fosa se asientan las depresiones de los ríos Chama y Mocotíes, cuyas aguas drenan en sentidos opuestos y confluyen en la cota 320. Ambos ríos, conforman un extenso valle longitudinal a los ejes mayores de relieve central de la Cordillera de Mérida, con una longitud de unos 170 km (Figura 2). La depresión del Chama separa los ejes mayores del relieve central de la Cordillera de Mérida: la Sierra de la Culata al norte y la Sierra Nevada al sur. La depresión del río Mocotíes separa el Macizo de Tovar y los páramos La Negra y Mariño al norte, de los páramos Viriguaca, Las Tapias y Guaraque al sur (Vivas 1992).

La permanente actividad de la Falla de Boconó y los movimientos tectónicos verticales han determinado que la estructura litológica de estas sierras sea un mosaico de rocas de todas las eras geológicas, desde la Precámbrica hasta la Cenozoica, pasando por la Paleozoica y la Mesozoica. Las cumbres más elevadas están formadas por mezcla de rocas metamórficas e ígneas pertenecientes al Precámbrico Superior y en su relieve están presentes círculos glaciares, morrenas, valles suspendidos de fondo plano y depresiones, a veces ocupadas por lagunas o turberas. Las vertientes de las sierras que confluyen hacia los cauces de los ríos de la cuenca son una mezcla de rocas paleozoicas, mesozoicas, terciarias y sedimentos cuaternarios cuyo relieve se expresa en depósitos de aluviones con forma de terraza, conos de deyección, conos de lava o bien por colinas de pendientes suaves (Vivas 1992). Después de su unión con el río Mocotíes, el Chama orienta su rumbo hacia al norte a través de una estrecha garganta con unos 27 km de recorrido que se abre finalmente al entrar en la depresión del lago de Maracaibo en las inmediaciones de la ciudad de El Vigía (110 msnm). En éste cañón de origen tectónico entran en contacto formaciones geológicas de diferentes edades (Vivas 1992).

1.2) Cuenca Lacustre

La cuenca lacustre del río Chama se inicia una vez que el curso del río abandona el piedemonte andino y se extiende en dirección norte por cerca de 70 km sobre una planicie aluvial que rellena la porción suroriental de la Depresión del Lago de Maracaibo. Después de haber recorrido cerca de 13 km desde la población de El Vigía (Municipio Alberto Adriani del estado Mérida), el río traspasa la frontera del estado Mérida y entra en el Municipio Francisco Javier Pulgar del estado Zulia dentro del cual hace su recorrido final hasta el Lago de Maracaibo. En todo

este recorrido el río no recibe el aporte de afluentes por lo que sólo funciona como colector de aguas superficiales de escorrentía de las zonas aledañas a sus riberas. Geológicamente, la depresión del lago es una fosa tectónica originada por el levantamiento de la Cordillera de Mérida y la Sierra de Perijá.

La cuenca ha estado sometida por millones de años a un continuo desecamiento y acumulación de sedimentos por la erosión y el transporte de aluviones cordilleranos (Espinoza 1992). El río Chama ha determinado la sedimentación de las áreas aledañas a su cauce mediante el transporte de sedimentos gruesos.

Esta continua acumulación de material grueso determina una formación permanente de bancos e islas, que le dan poca estabilidad espacial y temporal al cauce. A pesar de esta inestabilidad es posible identificar tres tipos de formaciones geomorfológicas en su cauce. Aguas abajo de la ciudad de El Vigía, sitio que marca el inicio del recorrido del río Chama sobre la llanura aluvial, el cauce es anastomosado. Seguidamente, en la mayor parte de su recorrido el cauce pasa a ser meandriforme, para finalmente, poco antes de su desembocadura en el lago, adquirir una forma deltaica (Pereira 1999).

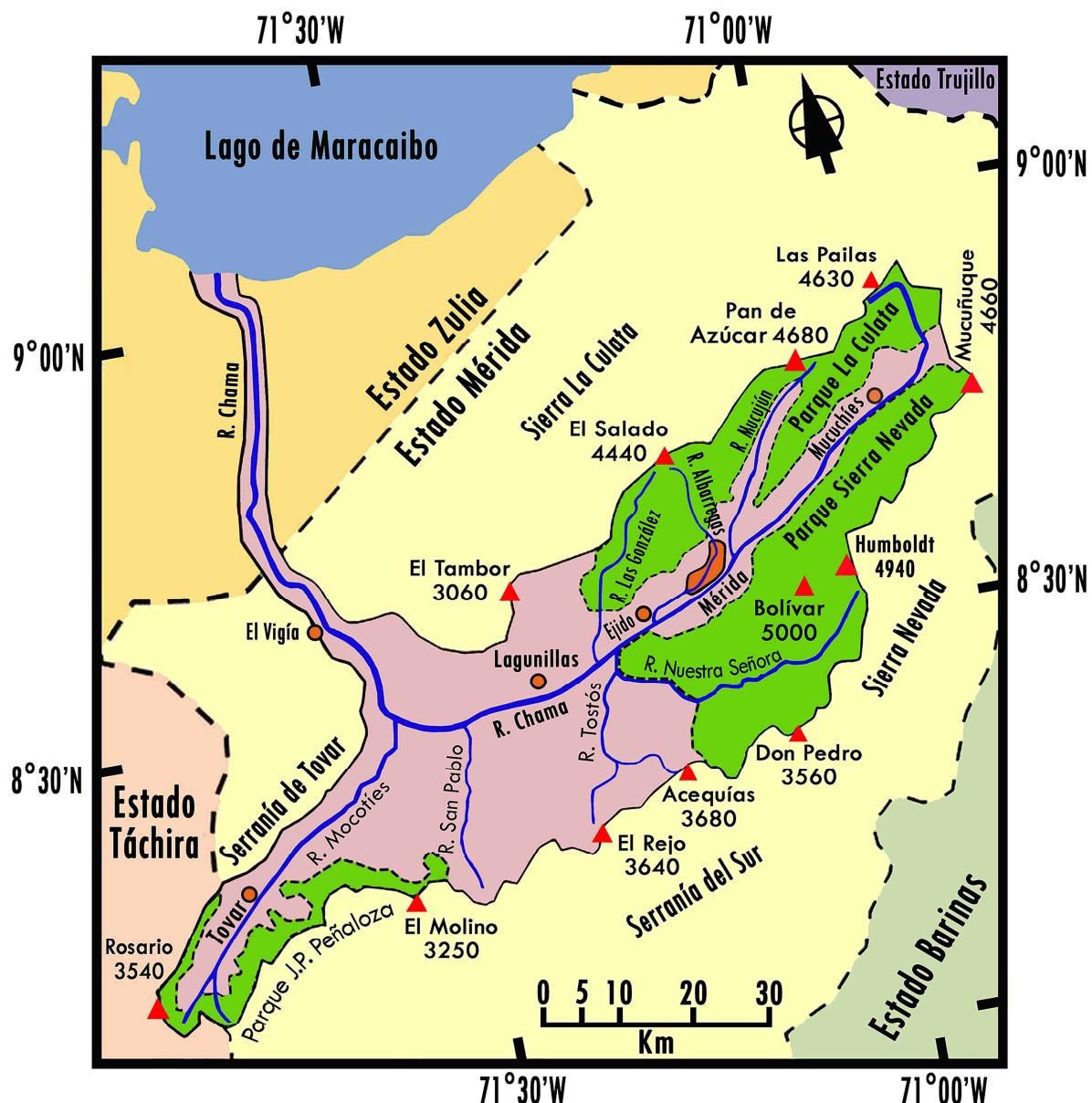


Figura 2. Cuenca del río Chama. Los triángulos rojos identifican los principales picos que marcan la divisoria de agua de la cuenca. En verde las áreas ocupadas por los parques nacionales dentro de la cuenca del Chama. El mapa es una modificación del publicado por Silva (1999).

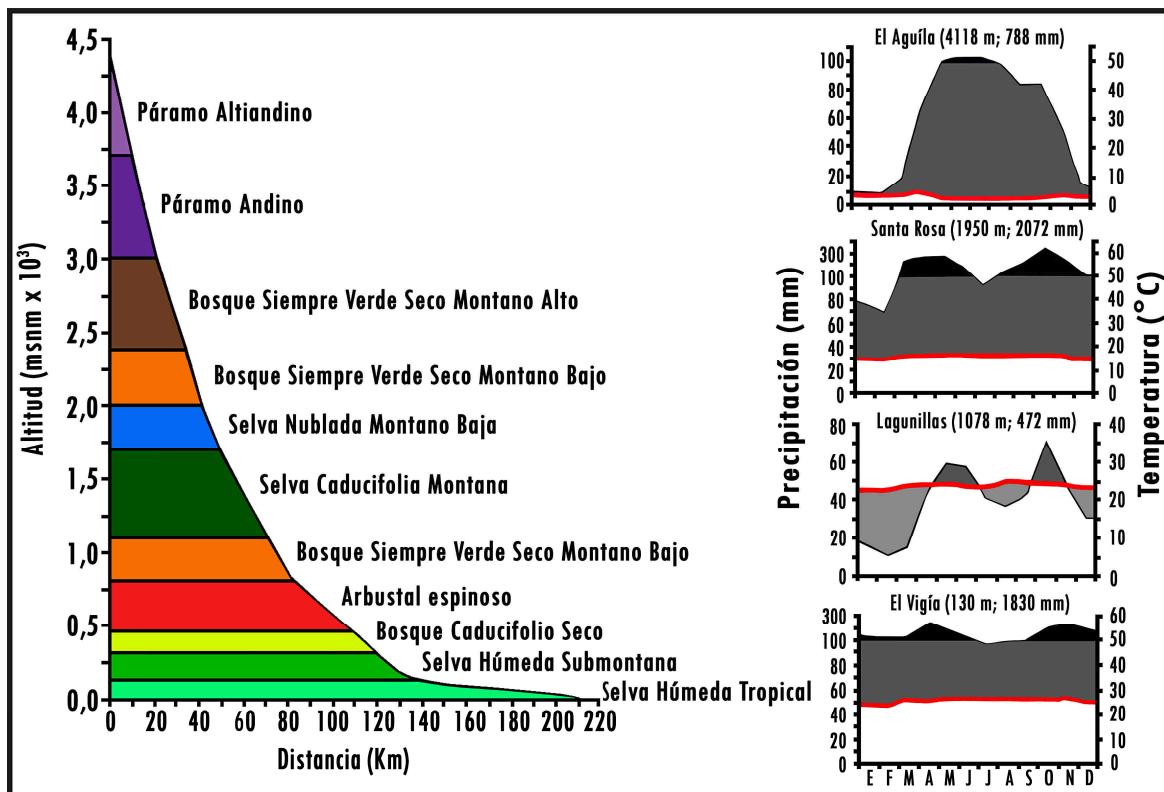


Figura 3. Altitud y distancia recorrida por el río Chama. Las franjas de colores representan las diferentes unidades ecológicas que atraviesa el río en su recorrido. Los climogramas ejemplifican diferentes expresiones del patrón de lluvia anual que se presentan en la cuenca a lo largo del descenso del río

2) Clima

La cuenca del río Chama muestra una gran variabilidad térmica y pluvial debido a la heterogeneidad y complejidad del relieve que predomina en su parte montaña que contrasta con la relativa uniformidad del relieve que caracteriza la porción lacustre de la cuenca. Asociado al recorrido descendente del río Chama hay un pronunciado gradiente altotérmico. La temperatura disminuye un promedio de $0,63^{\circ}\text{C}$ por cada 100 m de incremento de la altitud (Andressen et al. 1973), lo que genera una diferencia cercana a los $26,5^{\circ}\text{C}$ entre su nacimiento (4.400 msnm) y las zonas de pie de monte (200 msnm). Igualmente la precipitación es muy variable en toda la extensión de la cuenca, aunque no está asociada directamente con la altitud puesto que cambia de manera oscilante no sólo en la medida que desciende el río sino dentro de una misma franja altitudinal.

Aunque no hay asociación entre la variación de la altitud y la variación pluvial, es evidente la existencia de dos patrones anuales de lluvia. En las zonas más altas de la cuenca, cercanas a la divisoria de aguas que separa el valle del río Chama de las vertientes andinas orientadas hacia los llanos occidentales de

Venezuela predomina, hasta aproximadamente los 2.700 msnm, un régimen unimodal de precipitación conocido como patrón llanero, por ser característico de los llanos venezolanos (Figura 3). Este patrón de lluvias tiene un único período lluvioso que se extiende entre mayo y octubre y un único período seco, entre diciembre y marzo. Los meses de abril y noviembre se consideran de transición, porque en algunos años son meses secos y en otros lluviosos (Monasterio y Reyes 1980). En el resto de la cuenca, por debajo de la cota 2.700, incluido el valle del río Mocotíes, la precipitación anual sigue un régimen bimodal que también se conoce como patrón lacustre por estar influenciado por el clima de la depresión del Lago de Maracaibo (Figura 3). Este régimen bimodal es un rasgo típico de la lluvia en Venezuela al Oeste del meridiano 70°O (Martelo 2003). Presenta una estación seca de enero a marzo y una estación lluviosa de abril a diciembre, con dos picos pluviométricos, uno entre abril y mayo y el otro entre septiembre y octubre con un descenso, muy marcado en algunas zonas, entre junio y agosto.

El balance hídrico que caracteriza la cuenca intramontana del río Chama es muy variable dada la gran extensión y diversidad de ambientes presentes.

De hecho, es notable la existencia de áreas hiperhúmedas y áreas extremadamente secas en localidades muy cercanas unas de otras. Esta situación la ejemplifica la diferencia que muestra la pluviosidad en dos localidades como son la de Estanques (452 msnm) ubicada en una zona árida y La Mucuy (2.600 msnm) situada en una selva nublada. En Estanques el número mensual de días con lluvia es menor a 10 y el ingreso promedio de lluvia al año es de 532 mm. Por el contrario, en La Mucuy el promedio anual de lluvia es de 2.236 mm y durante ocho meses, de abril a noviembre, el número mensual de días con lluvia es superior a 21 días (Aranguren 2009).

En el valle del río Mocotíes, con gradiente altotérmico menos pronunciado que el del río Chama, también existen localidades muy cercanas con gran diferencia climática, como es el caso de Bailadores (1.736 msnm) que presenta un clima seco con promedio de precipitación anual de 686 mm, condición que contrasta con el clima más húmedo de la población de Tovar, distante 10 km, cuya precipitación anual promedio es igual a 1.117 mm, una de las más altas de la cuenca (INAMEH 2011).

En la cuenca lacustre del río Chama, el clima es influenciado por la dinámica atmosférica y la topografía de la depresión del Lago de Maracaibo. De acuerdo a Pereira (1999), los promedios diarios de temperatura oscilan entre 25 °C y 30 °C, con valores promedios máximos entre agosto y septiembre (31,9 °C y 32,5 °C) y promedios mínimos entre febrero y marzo (24,9 °C y 25,5 °C) respectivamente. El régimen de lluvias es bimodal, siendo una de las zonas más húmedas en la cuenca del río Chama. En El Vigía (110 msnm), ciudad ubicada al inicio de la cuenca lacustre del Chama, la precipitación anual promedio es de 1.700 mm, en tanto que en la localidad de Puerto Concha (3 msnm), muy cercana a la desembocadura del río en el lago, la precipitación media anual es de 1.400 mm.

3) Vegetación

En su recorrido descendente desde el páramo hasta el Lago de Maracaibo el río Chama atraviesa diferentes franjas de vegetación con características bien definidas y denominadas unidades ecológicas por Ataroff y Sarmiento (2004), quienes las identificaron según el tipo de vegetación dominante. En la Figura 3 está representado el perfil que describe el descenso del río al alejarse de su nacimiento y la secuencia de contactos que hace el curso del río con las unidades ecológicas en la medida que desciende. A continuación se describe brevemente la composición de la vegetación de cada unidad ecológica, siguiendo la descripción de Ataroff y Sarmiento (2004).

Páramo Altiandino: en contacto con el río desde sus nacientes hasta los 3.700 msnm. Escasa cobertura vegetal. Estrato inferior con altura menor a 40 cm. Representado por arbustos y plantas de las especies *Arenaria jahni*, *Azorella julianii*, *Aciachne pulvinata*, *Hinterhubera lasqueyij*, *Draba chionophylla*. Estrato superior entre 3 y 4 m, a veces ausente, dominado por rosetas gigantes como *Espeletia timotensis*, *Coespeletia spicata*. Hay parches del bosque altiandino con un dosel entre 3 y 7 m, dominado por *Polylepis sericea*, *Gynoxys meridana*, *Gynoxys moritziana* y *Weinmannia multijuga*. En el sotobosque están presentes *Hypericum laricifolium*, *Pentacalia pachypus*, *Pentacalia magnicalyculata*, *Monticalia andicola*, *Bejaria aestuans*, *Bocconia integrifolia*, *Chaetolepis lindeniana*, *Baccharis prunifolia*.

Páramo Andino: en contacto con el río entre 3.700 y 3.000 msnm. La vegetación es arbustiva y herbácea con altura inferior a 1,5 m. Especies representativas: *Espeletia schultzii*, *Espeletia batata*, *Hypericum laricifolium*, *Baccharis prunifolia*, *Stevia lucida*, *Sisyrinchium micranthum*, *Lachemilla moritziana*, *Geranium multiceps* y *Agrostis trichodes*. Hacia el límite inferior de la unidad, existen parches aislados de dos tipos de bosques: i) el bosque bajo o arbustal con altura entre 3 y 5 m representado por las especies: *Arytophyllum nitidum*, *Escallonia floribunda*, *Bejaria aestuans*, *Symplocos rigidissima*, *Berberis discolor*, *Hypericum* sp., *Dodonaea viscosa*, *Gaultheria alnifolia*, *G. cordifolia* y *G. buxifolia*, y ii) el Bosque Alisal con dosel de 15 m dominado por *Alnus acuminata* y en su parte más baja por *Espeletia nerifolia*. Sotobosque de 2 a 3 m de altura con presencia de *Prunus myrtifolia*, *Baccharis nitida*, *Hypericum bolivaricum* y *Myrsine guianensis*.

Bosque Siempreverde Seco Montano Alto: en contacto con el río entre 3.000 y 2.400 msnm. Dosel entre 10 y 15 m. Especies importantes: *Roupala aff. pseudcordata*, *Escallonia floribunda*, *Psidium caudatum*, *Psidium guianense*, *Myrsine ferruginea*, *Clusia multiflora*, *Weinmannia glabra*, *Dodonaea viscosa*. En el sotobosque destacan *Myrsine coriacea*, *Cassia aff. mutisiana*, *Stevia lucida*, *Baccharis nitida*, *Cassia jhanii*, *Berberis discolor*.

Bosque Siempreverde Seco Montano Bajo: en contacto con el río entre 2.400 y 2.000 msnm. Dosel entre 20 y 35 m. Especies importantes: *Clusia aff. minor*, *Toxicodendron striatum*, *Viburnum tinoides*, *Roupala aff. pseudcordata*, *Escallonia floribunda*, *Psidium caudatum*, *Psidium guianense*, *Myrsine ferruginea*, *Weinmannia pinnata*, *Byrsinima spicata*. En el sotobosque se cuentan: *Myrsine coriacea*, *Cassia aff. mutisiana*, *Croton rhamnifolius*, *Croton meridensis*, *Croton turimiquirensis*, *Trachypogon plumosus*, *Stevia rhombifolia*.

Selva Nublada Montano Baja: en contacto con el río entre 2.000 y 1.700 msnm. Dosel entre 20 y 35 m de altura, dominado por árboles de los géneros *Billia*,

Brunellia, Weinmannia, Clusia, Decussocarpus, Montanoa y Alchornea; helechos arborescentes de la familia Cyatheaceae y de los géneros *Chusquea, Canna, Gaultheria, Chamaedorea, Piper, Psychotria, Renealmia, Miconia* y *Solanum*, y epífitas de las familias Bromeliaceae, Piperaceae y Orchideaceae.

Selva Semicaducifolia Montana: en contacto con el río entre los 1.700 y los 1.100 msnm. Estrato superior formado por árboles con alturas entre 20 y 30 m, aunque son frecuentes árboles con más de 40 m de altura. Especies importantes pertenecen a los géneros *Tabebuia, Cedrella, Heliocarpus, Erythrina, Inga, Spondias* y *Ficus*. Estrato intermedio entre 12 y 20 m de altura, con abundancia de los géneros *Vismia, Miconia, Piper, Solanum, Montrichardia* y *Urena*. Estrato inferior caracterizado por plantas de los géneros *Anthurium* y *Asplundia*.

Bosque Siempreverde Seco Montano Bajo: en contacto con el río entre 1.100 y 800 msnm. Su vegetación fue descrita anteriormente.

Arbustal Espinoso: en contacto con el río entre 800 y 450 msnm. Estrato superior dominado por leguminosas de los géneros *Prosopis* y *Acacia*, cactáceas columnares de los géneros *Stenocereus, Subpilocereus* y *Pilosocereus* y epífitas vasculares de las familias Piperaceae, Bromeliaceae y Orchideaceae. Estrato intermedio formado por los géneros *Croton, Cordia, Jatropha* y *Opuntia*. Estrato bajo representado por los géneros *Opuntia, Melocactus* y *Mammillaria*.

Bosque Caducifolio Seco: en contacto con el río entre los 450 y 300 msnm. Estrato superior abierto hasta 20 m, dominado por árboles caducifolios: *Bursera simaruba, Tabebuia chrysanthba, Tabebuia blakeana*, con lianas y epífitas abundantes. Estrato medio hasta 8 m, con abundancia de *Prosopis juliflora, Acacia tortuosa, Stenocereus griseus, Momvillea* sp. y *Plumeria alba*. Estrato bajo, muy abierto, con arbustos de 1 a 3 m de las especies *Ageratum meridensis, Cnidoloscus urens, Jatropha gossypifolia* y *Portulaca oleracea*.

Selva Húmeda Submontana: en contacto con el río entre 300 y 100 msnm. Dosal denso con árboles entre 15 y 25 m. Árboles de las especies: *Ochoterenaea columbiana, Henriettella fissanthera, Pourouma bicolor, Anacardium excelsum, Graffenrieda gracilis, Piper arboreum, Warszewiczia coccinea, Ecclinusa lanceolata*. Palmas de la especies: *Bactris macana, Euterpe karsteniana, Geonoma interrupta, Attalea butyracea, A. maracaibensis*. Lianas leñosas y enredaderas de las especies: *Manderilla subsagittata, Peltastes colombianus, Adenocalymma inundatum, Mansoa kerere, Xylophragma seemannianum* y *Dioscorea coriacea*.

Selva Húmeda Tropical: en contacto con el río por debajo de los 100 msnm, incluso en planicies. Árboles con altura superior a 35 m con abundancia de

lianeras y trepadoras. Especies importantes son: *Anacardium excelsum, Spondias mombin, Ceiba pentandra, Couroupita guianensis, Inga nobilis, Attalea maracaibensis, Trichospermum mexicanum* y *Cedrela fissilis*.

4) Poblamiento

Las características geológicas, geográficas, topográficas y climáticas han sido factores fundamentales para que la cuenca del río Chama haya servido históricamente como principal asiento del poblamiento de la región central andina (Chaves 1985, Vivas 1992). A estas potencialidades naturales, se han asociados otros elementos favorecedores introducidos por el hombre como la actividad agrícola cuyos inicios datan del periodo colonial, el mejoramiento de las vías de comunicación regionales y nacionales desde la primera mitad del siglo XX, y la actividad turística y recreacional de gran auge en las últimas décadas (Goldstein et al. 2012).

El poblamiento organizado de los Andes centrales en Venezuela se desarrolló a lo largo del eje longitudinal del río Chama y de su principal tributario el río Mocotíes entre los siglos XVI y XIX, lapso dentro del cual se fundaron numerosos centros poblados que todavía existen y donde actualmente se alberga el 70% de la población total del estado Mérida (Tabla 1). En el caso de la cuenca lacustre, el desarrollo vial representado por la construcción de las carreteras Santa Bárbara-El Vigía (1950), La Fría-El Vigía (1952-1953) y la edificación del puente sobre el río Chama (1954), unido al saneamiento ambiental de las tierras bajas, consolidó el desarrollo demográfico del Sur del Lago, iniciado alrededor de las décadas de los años 30 y 40 (Zambrano 2010). Otro elemento que evidencia el gran crecimiento poblacional que se ha dado dentro de la cuenca hidrográfica del río Chama, lo proporciona la contribución de los nueve municipios del estado Mérida que forman parte de la cuenca del río Chama. Estos territorios ocupan algo menos del 43% de la superficie total del estado, sin embargo concentran el 75% de su población total.

La contribución del municipio Francisco Javier Pulgar del estado Zulia, por donde discurre el tramo final del río Chama, es cercana a un 5,1% de la población de todos los municipios que forman parte de la cuenca del Chama (INE 2014). En comparación con las cuencas hidrográficas de la Cordillera de Mérida, la cuenca del río Chama, también ha mantenido desde la década de los años 90 la mayor densidad de población (Tabla 2). La alta densidad poblacional que ha mantenido históricamente la cuenca del río Chama ha sido factor determinante para que durante este trascurridir se hayan intensifica-

Tabla 1. Año de fundación, altitud y población de los principales centros urbanos ubicados en los valles de los ríos Chama y Mocotíes del estado Mérida. Venezuela. Datos de población provienen de INE (2014).

Centros poblados	Año de fundación	Altitud (msnm)	Población
Mérida (Capital)	1559	1.610	215.542
Ejido	1620	1.142	90.953
El Vigía	1892	125	87.849
Tovar	1620	990	38.455
Lagunillas	1586	1.060	22.370
Tabay	1620	1.710	18.037
Santa Cruz de Mora	1864	622	17.714
Bailadores	1628	1.650	16.360
San Juan de Lagunillas	1558	1.035	15.573
Chiguará	1657	970	8.388
Mucuchíes	1626	2.986	7.359
S. Rafael de Mucuchíes	1872	3.122	4.299
La Mesa	1695	1.400	4.297
Estánques	1884	500	4.284
Mesa Bolívar	1853	1.095	4.067
La Playa	-	1.200	3.768
Mucurubá	1596	2.400	3.415
Total			562.730

do diferentes procesos que han afectado tanto los ambientes terrestres como los acuáticos. Entre estos procesos destacan: la expansión de la frontera agrícola con la consecuente reducción y/o fragmentación de ambientes naturales como el páramo (Smith y Romero 2012) y la selva nublada (Pozzobon y Hernández 2004); la extracción excesiva de agua (Naranjo y Duque 2004); el uso irracional de biocidas en la agricultura (Benítez y Miranda 2013); el aumento en las descargas de aguas servidas (Atkinson 2008); la mayor frecuencia de eventos naturales catastróficos (Hernández y Valbuena 2001) y el abuso en el uso de los ambientes naturales con fines turísticos (Montilla 2007). Todos estos factores han afectado la disponibilidad y calidad del agua que proveen los ambientes fluviales que conforman la cuenca del río Chama (Segnini et al. 2009), afectando la calidad de vida de las comunidades humanas y del resto de seres vivos que habitan tanto en las zonas próximas a las fuentes de agua, como los que viven en las zonas de tierras bajas que también dependen del agua producida en estas elevadas fuentes y que es transportada por los ríos, arroyos y quebradas.

5) Uso de la tierra y áreas protegidas

El uso de la tierra en las cuencas intramontana y lacustre del río Chama tienen un origen y desarrollo

diferente. En la cuenca intramontana se ha mantenido desde la época prehispánica el mismo patrón espacial de ocupación, el cual ha estado determinado en rasgos generales por la disposición longitudinal que caracteriza los valles de los ríos Chama y Mocotíes (Vivas 1992). En el caso de la cuenca lacustre, la ocupación y transformación del paisaje boscoso fue propiciada por el Estado venezolano desde mediados del siglo pasado, con el propósito de convertir el sur del lago en una zona de desarrollo agropecuario y explotación forestal. Aunque son múltiples los factores que condicionan la ocupación del espacio en los Andes, Goldstein et al. (2012) los sintetizan en tres grandes procesos: el poblamiento, la ampliación de la comunicación terrestre y la expansión agrícola. Entre 1961 y 2011 la densidad poblacional para toda la cuenca del río Chama pasó de 13,6 hab/km² a 83,2 hab/km², lo que representa 511% de incremento (Pulido 2011).

5.1) Uso de la tierra en la cuenca intramontana

La mayor parte de la población actual de la cuenca del Chama está asentada en la cuenca intramontana, la cual alberga cerca del 79% de la población de toda la cuenca. Este aumento poblacional en la parte montaña de la cuenca ha sido fomentado desde la época colonial por la presencia de elementos físic-naturales favorables a las actividades humanas y en épocas más recientes por la construcción de la carretera trasandina (1926), vía que transita a lo largo de los valles intramontanos andinos y que facilitó el flujo migratorio e intensificación del intercambio comercial de bienes y servicios entre las zonas altas de los Andes y los centros urbanos del resto del país. Los tres factores antes mencionados: condiciones naturales favorables, aumento de la población y el mejoramiento de la red vial fueron determinantes para que la agricultura se haya mantenido desde la época colonial como la actividad que más ha producido cambios en la cobertura y uso de la tierra en la cuenca intramontana del río Chama (Figuras 8C, E). El impacto de la deforestación comenzó a hacerse notable en las últimas décadas del siglo XX. Entre 1988 y 2001 la cobertura del bosque en la cuenca montaña paso de 1.571,5 km² a 905,1 km² respectivamente, lo que representó una pérdida del 42% de los bosques en un lapso de 13 años (Goldstein et al. 2012). Sin embargo, esta disminución de los bosques ha sido menos pronunciada en la cuenca del río Chama que en la del río Mocotíes. En las vertientes montañosas de la cuenca del Chama, todavía existe una apreciable superficie de bosques bien conservados por estar asentados sobre terrenos abruptos o dentro de áreas naturales protegidas. Por el contra-

Tabla 2. Densidad de población en cuencas hidrográficas de la Cordillera de Mérida.
Fuentes: (1) Pulido et al. (2011); (2) Proyección propia.

Ríos	Número de habitantes/km ²				
	1990 ⁽¹⁾	2001 ⁽¹⁾	2011 ⁽²⁾	2016 ⁽²⁾	Promedio
Chama	64,7	83,2	104,3	115,5	91,9
Uribante	59,1	80,9	101,0	111,8	88,2
Masparro	42,9	65,8	90,7	104,4	75,9
Motatán	61,9	79,0	93,7	102,2	84,2
Catatumbo	37,0	49,4	62,8	69,6	54,7
Portuguesa	20,4	29,8	40,8	46,2	34,3
Tocuyo	20,1	28,4	35,3	40,1	31,0
Tucaní	12,8	19,9	26,7	31,8	22,8
Escalante	12,8	17,8	22,5	25,9	19,7
Caparo	3,9	5,9	6,6	7,8	6,0
Chama	64,7	83,2	104,3	115,5	91,9

rio, en la cuenca del río Mocotíes la pérdida de la superficie boscosa disminuyó alrededor de un 64% entre 1986 y 2015. De acuerdo a Contreras y Portillo (2015), el bosque natural cubría en 1986 una superficie de 424,4 km² y esta representaba el 84,2 del área total de la subcuenca del río Mocotíes; mientras que para el año 2001 la misma disminuyó a 329,2 km² (65,3 %) y para el 2012 alcanzó 100,8 km² (19,9%). En contraste, la superficie cultivada que para el año 1986 era de 2,5 km² (0,49%), en el 2001 se incrementó a 28,9 km² (5,7%) y en el 2012 fue de 61,3 km² (12,2%).

5.2) Uso de la tierra en la cuenca lacustre

En la cuenca lacustre del río Chama, la ocupación del espacio y los cambios en el uso de la tierra son más recientes y con un diferente patrón de desarrollo que los observados en la cuenca intramontana. Esta porción de la cuenca del Chama forma parte de la región que políticamente y administrativamente es conocida como Zona Sur del Lago de Maracaibo. Es una franja de terreno emplazada en la llanura aluvial del Lago de Maracaibo, comprendida entre 0 msnm en la costa sur del lago y los 250 msnm en el piedemonte andino. Corre paralela a la Cordillera de Mérida y se extiende por unos 190 km entre el lindero internacional con Colombia al SO y el río Pocó al NE en el estado Trujillo. Desde la época colonial hasta la primera mitad del siglo XX la actividad agrícola estuvo representada por el cultivo extensivo del cacao, la caña de azúcar, el café y el plátano. El primer centro poblado fue San Antonio de Gibraltar (1592) y es sólo a finales del siglo XVIII que se establecen otras poblaciones como Santa María, Encontrados y

San Carlos del Zulia, todos cercanos a las desembocaduras de los ríos Catatumbo, Escalante y Chama (Zambrano 2011). La gran transformación del paisaje de esta zona se inicia a partir de los años 50 del siglo XX, como resultado de la construcción de la carretera panamericana (1953-1955) y de la política propiciada por el estado venezolano de transformar el sur del lago en una zona de desarrollo agropecuario y explotación forestal (Rojas et al. 2014).

Las consecuencias de este desarrollo han sido la eliminación casi total de la cubierta boscosa (Figura 8F). De modo que lo que antes eran zonas de bosques húmedos con árboles con alturas entre los 30 y 60 m, actualmente son pastizales usados en la cría de ganado o son extensas plantaciones de plátano (Romero 1995). La destrucción de los bosques en el Sur de Lago ha sido de tal magnitud que para el año 1971 sólo quedaba el 21% de las 800.000 ha de la superficie boscosa que existía en los años 40, y para 1988 sólo quedaban remanentes pequeños y dispersos de aquellos bosques (Rojas et al. 2014).

5.3) Áreas Protegidas

Dentro de la cuenca del río Chama hay tres categorías de áreas protegidas: parques nacionales (Sierra Nevada, Sierra de La Culata y Juan Pablo Peñaloza); zonas protectoras (subcuenca de los ríos Mucuján, Albarregas, quebrada Las González); y monumentos naturales (Chorrera Las González y Laguna de Urao). El Parque Sierra Nevada tiene una superficie de 276.446 ha y comprueba 74.024 ha (27%) con la cuenca del río Chama (Figura 2). En esta porción del parque existen 31 cuerpos de agua corriente de diferente orden que confluyen directamente en la mar-

gen izquierda del río a lo largo de un tramo de 60 km, entre la quebrada La Mucuchache (3.200 msnm) y el río Nuestra Señora (800 msnm). Algunos de esos tributarios son las quebradas Mucuchache, Saisay, Gavidia, Granate, Mucuy, Mucunután, Fría, Astillera y el río Nuestra Señora. El parque Sierra de La Culata tiene una superficie de 200.400 ha. De este total comparte 45.070 ha (22%) con la cuenca del río Chama (Figura 2). Los primeros 10 km del curso del río discurren dentro del parque (4.400-3.750 msnm). Seguidamente, en un tramo de 68 km que finaliza en el punto donde confluye la quebrada Las González (750 msnm), el río recibe por su margen derecha la contribución de 28 tributarios que drenan sus aguas por la vertiente suroeste del parque. Entre estos afluentes destacan las quebradas La Toma, La Sucia, Estití, Pedregosa, Montalbán, La Portuguesa, Las González y los ríos Albarregas y Mucujún. El Parque Juan Pablo Peñaloza tiene una superficie total de 95.200 ha, con 16.553 ha (17%) dentro de la cuenca del río Chama. Este parque rodea las nacientes del río Mocotíes, ubicadas entre los páramos de Virigüaca (3.300 msnm) y el Rosario (3.540 msnm). Desde esta zona, el límite inferior del parque corre paralelo a las dos márgenes del río (Figura 2). Por su margen izquierda, a lo largo de un tramo de unos 19 km que finaliza en las cercanías de La Playa (1.280 msnm), el río Mocotíes recoge el aporte de las quebradas que nacen en el parque, entre las cuales están: La Colorada, La Periquera, Guarapao, San Pablo, La Sucia, Chita, Moreno y Quebrada Secay. Por la margen derecha en un tramo de unos 40 km que se extiende entre las nacientes hasta Santa Cruz de Mora (590 msnm) el río recibe los drenes de varias quebradas tributarias, entre las cuales se encuentran El Rincón de la Laguna, La Cascada, Los Pinos, Cucachica y San Francisco.

En general, las zonas ocupadas por los parques nacionales tienen un relieve montañoso riguroso. Sin embargo, hacia las zonas más altas de los parques existen valles fluviales que tienden a ser amplios y con poca inclinación que ofrecen condiciones favorables a la ocupación y uso de la tierra. Este es el caso de los valles de las quebradas Mucuchache, Saisay y Gavidia, en el Parque Sierra Nevada y los valles de la quebrada La Toma y el río Mucujún en el Parque La Culata (Figura 8B). Hacia las parte más bajas, donde dominan las selvas montanas, el relieve de los parques es abrupto, con abundancia de valles profundos y estrechos, de vertientes escarpadas y gran inclinación. Estas condiciones fisiográficas, unidas a la presencia de áreas protegidas, han contribuido a frenar su ocupación y a preservar sus bosques (Figura 8D). Varios autores han encontrado que

la tasa de deforestación dentro del Parque La Culata ha sido leve con excepciones muy puntuales (Hernández y Pozzobon 2002; Pozzobon y Hernández 2004; Aldana y Bosque 2008). En este sentido, Smith y Romero (2012) consideran que la escasa intervención en el Parque La Culata, al menos en la zona de páramo, se debe a la gran altitud del límite inferior del parque, ubicado por encima del umbral térmico de la agricultura.

En el Parque Sierra Nevada, por el contrario, el límite inferior está muy próximo a la margen izquierda del río Chama, lo que ha permitido la existencia de algunos frentes de avance de la agricultura dentro de sus límites, con una pérdida estimada de cerca de 80 ha de vegetación natural protegida en el lapso 2003-2012 (Smith y Romero 2012). Un caso extremo es el de la subcuenca del río Nuestra Señora, cuyo cauce marca parte del límite suroeste del Parque Sierra Nevada. Actualmente en esta subcuenca no existe remanente alguno de las 5781 ha de bosques que existían en 1952 (Hernández y Pozzobon 2002). Una situación diferente es la que presenta la porción del Parque Nacional Juan Pablo Peñaloza que ocupa el 35,6% del área de la Subcuenca del Mocotíes. Esta parte del parque ha sido muy afectada por la deforestación. Para el año 2015 los bosques cubrían sólo el 20,6% de superficie del parque, en tanto que los bosque intervenidos ocupaban el 53,5% y los cultivos el 8,9% (Contreras y Portillo 2015).

Con relación a las otras áreas protegidas dentro de la cuenca del río Chama, las subcuenca de los ríos Mucujún, Albarregas y quebrada Las González, han sido declaradas, total o parcialmente, como zonas protegidas debido a su importancia como abastecedoras de agua de varias poblaciones que conforman el área metropolitana de la ciudad de Mérida; y la Laguna de Urao y La Chorrera Las González fueron decretados como monumentos naturales por ser espacios de diversión y esparcimiento de los visitantes, además de ofrecer protección a la diversidad biológica, social y cultural. Especial atención merece La Laguna Urao que por el alto contenido de sales de carbonatos de sodio y calcio es el único ambiente lacustre salobre de montaña que existe en el país. Esta condición la convierte en un ambiente muy particular, cuya estética y biota debe ser preservada, sin embargo esta laguna es el monumento natural de Venezuela que actualmente tiene el mayor riesgo de perder dicha condición (Rivero et al. 2000). Según Rojas et al. (2014), en el mediano plazo las zonas boscosas contiguas a las áreas protegidas y aquellas en zonas accesibles dentro de sus linderos serán deforestadas, aumentando la fragmentación y la desconexión de los parches de bosques, cuya conse-

cuencia más notable es la disminución de su potencial hídrico y de otros servicios ecosistémicos.

6) Caracterización hidromorfológica y fisicoquímica el sistema fluvial río Chama

Los factores ambientales que definen estructuralmente y funcionalmente un sistema lótico pueden ser agrupados en tres categorías: a) hidromorfológicos como el flujo de corriente, la velocidad, el caudal, la forma del cauce, el tipo de sustrato y el transporte de materiales; b) físico-químicos como la temperatura, la materia sólida suspendida, la turbidez, la conductividad, los gases y nutrientes disueltos, y c) biológicos como la biota acuática y los procesos que la sustentan. Todos estos factores cambian naturalmente en el espacio y el tiempo producto de la influencia conjunta de factores climáticos y la actividad humana. En esta sección se describirán algunas propiedades hidromorfológicas y fisicoquímicas que caracterizan a ríos de la cuenca del Chama, mientras que en la próxima sección se tratarán las biotas acuáticas.

6.1) Características hidromorfológicas

La estructura y dinámica fluvial del río Chama está estrechamente asociada al complejo relieve de su cuenca. El efecto que tiene la heterogeneidad del relieve sobre la hidromorfología del río en la cuenca alta (> 800 msnm) fue evidenciado por Segnini y Chacón (2005). Estos autores estimaron los valores de variables hidráulicas y morfológicas en 115 sitios de muestreo ubicados en 46 ríos y distribuidos en tres unidades ecológicas: el Páramo Andino, la Selva Nublada y los Bosques Bajos, que incluyen la Selva Semicaducifolia Montana y el Bosque Siempreverde Seco Montano Bajo (Tabla 3). Los datos de la Tabla 3 muestran en primer lugar la existencia de un gradiente de altitud de condiciones hidromorfológicas que explican las diferencias ambientales entre los ríos que drenan las tres unidades ecológicas antes mencionadas, especialmente entre aquellos ríos de Páramo y los de Bosques Bajos. En segundo lugar se evidencia la asociación que existe entre la altitud y la pendiente con el tamaño y caudal de los cauces. El caudal refleja claramente el efecto de la altitud sobre las condiciones hidrológicas. Para el caso del río Chama, el gasto promedio ha sido estimado en 4,0 m^3/s en la cota 2.300, en 24,6 m^3/s en la cota 1.100 y en 54 m^3/s cerca de su desembocadura en el Lago de Maracaibo. Los dos primeros registros corresponden al promedio mensual de aforos medidos en el río Chama en las estaciones hidrológicas de Mucurubá (2.300 msnm) y de Ejido (1100 msnm) entre 1964 y 1992 (INAMEH 2011). El tercer registro es

el promedio de ocho aforos entre 1996 y 1998 (Rivas et al. 2009). El caudal también muestra importantes variaciones a lo largo del año debido al cambio estacional de las precipitaciones. En la estación de mayor altitud (Mucurubá), el gasto medio mensual presentó un patrón unimodal (Figura 4), con un máximo en el mes de julio. Este patrón se corresponde con el patrón unimodal de precipitaciones que caracteriza las zonas más altas de la cuenca del río Chama. En la estación de menor altitud (Ejido), el régimen estacional del caudal fue bimodal con dos máximos, uno en mayo y otro en octubre. Este patrón igualmente responde al patrón bimodal de precipitaciones que caracteriza la cuenca hidrográfica del río Chama por debajo de los 2.700 m de altitud.

El material del fondo de los ríos de la cuenca del Chama resulta de un proceso de estructuración del lecho que pasa por tres etapas sucesivas: transporte, semideposición y deposición (ACIJ 1990). El traslado de sedimentos se produce en el canal principal del río, aguas arriba de su confluencia con el río Mucujún (1.460 msnm) y en algunos ríos tributarios como La Mucuy, Mocotíes, Albarregas, La González y Nuestra Señora, todos ellos caracterizados por poseer lechos formados mayormente por rocas y gravas, con pronunciados gradientes de pendiente y anchos máximos cercanos a los 10 m (Figura 8D). La semideposición ocurre en el tramo comprendido entre la confluencia del Chama con el río Mucujún y su entrada en la planicie aluvial del Lago de Maracaibo (110 msnm). En esta sección son depositados y almacenados temporalmente la mayor parte de los sedimentos producidos en la zona más alta de la cuenca antes de ser trasladados aguas abajo y finalmente depositados sobre el lecho a la salida del piedemonte andino. Desde este sitio, el material sólido migra progresivamente aguas abajo, formando banco e islas, especialmente en épocas de estiaje, que frenan la corriente y originan el amplio abanico aluvial compuesto por arena, limo y arcilla que caracteriza la planicie por donde discurre el tramo final del cauce del río Chama (ACIJ 1990).

6.2) Características fisicoquímicas

La cuenca del río Chama muestra una gran heterogeneidad de las condiciones térmicas y químicas del agua. La temperatura del agua en los ríos de la cuenca del Chama está asociada al pronunciado gradiente de aumento que muestra la temperatura del aire al disminuir la altitud, la cual alcanza diferencias promedios cercanas a los 27 °C entre el páramo altiandino y el piedemonte. En correspondencia con la variación térmica del aire, la temperatura del agua muestra una diferencia próxima a los 20 °C entre el

Tabla 3. Valores máximos y mínimos de algunas variables hidromorfológicas de ríos situados en tres unidades ecológicas de la cuenca alta del río Chama según Segnini y Chacón (2005). CV: coeficiente de variación.

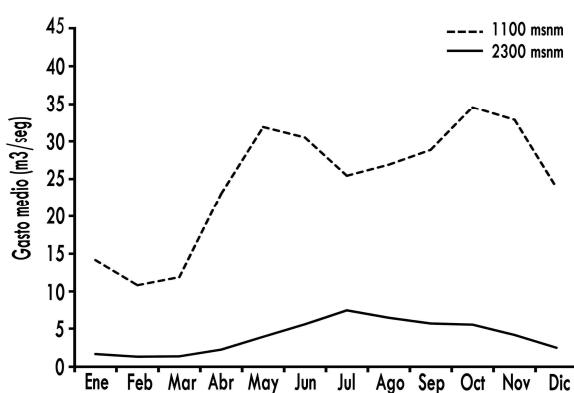
Unidades ecológicas	n	Altitud (msnm)	Pendiente (%)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Velocidad (m/seg.)	Caudal (m ³ /seg.)
Páramo	9	3.735-3.170	14,5-3,5	7,7-2,2	0,34-0,07	0,80-0,06	0,92-0,01
Selva nublada	32	2.985-1.750	22,0-1,5	29,0-1,2	0,46-0,08	1,16-0,02	5,4-0,004
Bosques bajos	10	1.650-830	12,0-1,5	11,1-3,4	0,43-0,11	1,30-0,32	3,6-0,16
Promedio			8,7	5,46	0,23	0,63	0,82
CV (%)			44,0	68,7	36,1	37,8	111,8

promedio mínimo registrado en la cabecera y el promedio máximo medido cerca de su desembocadura. Se ha estimado en 7,5 °C el valor promedio en el agua en los ríos del páramo andino (> 3.000 msnm), en 15 °C en los ríos de selva nublada (1.700-3.000 msnm), en 18 °C en los bosques bajos (800-1.700 msnm) y cercana a 27 °C en el curso principal del río próximo a su desembocadura (Segnini y Chacón 2005, Rivas et al. 2005). No obstante la gran variación que muestra la temperatura con la altitud, el cambio estacional de la temperatura a lo largo del ciclo anual es relativamente pequeño, tal y como lo demuestran los valores de la temperatura del agua medidos en el cauce principal de la cuenca alta del río Chama quincenalmente durante un año a diferentes altitudes. La amplitud de la variación de la temperatura promedio anual fue entre un mínimo de 4,8 °C y un máximo de 6,2 °C, mientras que su variabilidad relativa, medida por el coeficiente de variación, disminuyó con la altitud en un 13%; es decir, que al descender en altitud los cambios anuales de la temperatura son menos pronunciados (Tabla 4).

Las condiciones químicas del agua también están sujetas a una gran variación, especialmente las relacionadas con la mineralización del agua la cual depende tanto de la diversidad geológica en la cuenca como de los procesos de transporte y sedimentación de material sólido. Para el caso de la cuenca alta (> 800 msnm), la conductividad, la alcalinidad y la dureza mostraron valores de bajos a intermedios en los ríos de páramo y selva nublada, sin embargo aumentaron grandemente en los ríos de menor altitud, posiblemente debido a un mayor aporte de sólidos disueltos como consecuencia de estar estos ríos en zonas de mayor erosión e intervención humana (Tabla 5).

En la cuenca lacustre del río Chama, las propiedades químicas del agua son dependientes del intenso proceso de arrastre y deposición de sedimentos que son trasladados por el río desde la cuenca montaña. Se ha estimado en 884,4 mg/l el promedio de sólidos suspendidos totales que acarrea el Chama en su desembocadura. De acuerdo a Rivas et al. (2005), este es el más alto valor encontrado para los ríos que desembocan en la costa sur del Lago de Maracaibo. Igualmente el río Chama es, entre los tributarios del sur del lago, el que aporta mayor cantidad de nitrógeno y fósforo totales con un promedio de 2,3 y 1,1 mg/l respectivamente (Rivas et al. 2009). Como un compendio de la caracterización física y química que se ha hecho en esta sección es evidente que a lo largo de todo el recorrido longitudinal del Chama existe un gradiente altitudinal en las condiciones hidromorfológicas y fisicoquímicas del hábitat acuático, en el cual las condiciones térmicas e hidrológicas son las más relevantes. Sin embargo, con relación a estas condiciones existe un gran contraste entre la cuenca intramontana y la cuenca lacustre.

La gran variabilidad geológica, topográfica y de vegetación que presenta el relieve montano, determinan la existencia de una gran diversidad de

**Figura 4.** Gasto medio mensual del caudal del río Chama en las estaciones hidrológicas de Mucurubá (2.300 msnm) y de Ejido (1.100 msnm) entre 1964 y 1992 (INAMEH 2011).

condiciones hidráulicas, fisicoquímicas y de calidad de los hábitat acuáticos que no está presente en la cuenca lacustre del río, dada la relativa homogeneidad que presenta el relieve en esta parte de la cuenca del río Chama. Estas diferencias tienen que reflejarse en cuanto a la diversidad de bienes y servicios que se pueden obtener de los ambientes acuáticos en ambas zonas, especialmente aquellos relacionados con el uso del agua potable y el mantenimiento de la diversidad biológica.

7) Biodiversidad

7.1) Macroinvertebrados acuáticos

En la cuenca alta del río Chama (> 800 msnm), la fauna de macroinvertebrados acuáticos de agua corriente está repartida en cuatro phyla, seis clases, 12 órdenes y 51 familias (Chacón 2003; Segnini et al. 2009). Los órdenes mejor conocidos en cuanto a especies son Coleoptera, con 16 especies (García 2002, Short y García 2010); Trichoptera, con 10 especies (Holzenthal y Cressa 2002, Johanson y Holzenthal 2004); Plecoptera, con seis especies (Maldonado et al. 2002); Ephemeroptera, con tres especies (Chacón et al. 2009, 2010, 2013), y Megaloptera con una especie (Contreras-Ramos 2002). La Clase Insecta representa el 92% del total de individuos (Tabla 6), siendo el orden Díptera (44%) el más abundante en toda la

cuenca alta; sin embargo, esta dominancia varía de acuerdo a la unidad ecológica que atraviesa el río. En el ambiente de páramos los Diptera son mucho más abundante (61%) que los Ephemeroptera (17%). Al contrario, en las zonas boscosas, los efemerópteros (47%) son más abundantes que los dípteros (29%).

Respecto a otros grupos distintos a los insectos, los oligoquetos son los más representativos especialmente en el páramo (7%). También existen diferencias importantes entre los ríos de páramo y los ríos de las otras unidades ecológicas en cuanto a la diversidad de macroinvertebrados. En los páramos es baja la diversidad, con un predominio de dípteros, oligoquetos y moluscos, que son taxa tolerantes a condiciones extremas de hábitat. Los ríos de las zonas boscosas de la cuenca alta poseen una mayor riqueza de taxa y están presentes grupos que no han sido detectados en los páramos, algunos de los cuales son: las familias Leptophlebiidae, Trichorythidae y Oligoneuriidae entre los Ephemeroptera; las familias Glossosomatidae y Odontoceridae entre los Trichoptera; las familias Limnichidae, Melyridae, Psephenidae entre los Coleoptera; y los órdenes Lepidoptera, Odonata y Megaloptera. Estos tres últimos órdenes de insectos acuáticos son poco tolerantes a bajas temperaturas y condiciones extremas de hábitat. Quizá la mayor abundancia de los macroinver-

Tabla 4. Temperatura media anual del agua ($^{\circ}\text{C}$) a diferentes altitudes en el Río Chama.

Estadístico	Altitud (msnm)							
	3.500	3.325	3.125	3.000	2.700	2.300	1.900	1.750
Mínimo	5,1	5,9	7,1	8,0	9,2	11,7	14,2	15,7
Máximo	10,2	12,1	12,5	13,5	14,5	16,5	19,0	20,8
Promedio	8,0	9,2	10,0	10,5	11,4	13,8	16,2	17,8
Rango	5,1	6,2	5,4	5,5	5,3	4,8	4,8	5,1
Desviación	1,6	1,9	1,7	1,5	1,3	1,4	1,4	1,4
% CV	19,5	20,3	16,5	13,8	11,5	9,9	8,7	7,6

Tabla 5. Valores máximos y mínimos de algunas variables fisicoquímicas del agua de ríos situados en tres unidades ecológicas de la cuenca alta del río Chama. Fuente: Segnini y Chacón (2005); (1) MOS = Materia Orgánica en Suspensión.

Unidades ecológicas	n	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Conductividad ($\mu\text{mhos/cm}$)	MOS ⁽¹⁾ (mg/l)	Oxígeno (ppm)	pH	Alcalinidad (ppm) CaCO_3	Dureza (ppm) CaCO_3
Páramo	9	17,0-5,0	135-35	10,0-0,9	9,0-6,8	8,4-6,5	59-12	63-7
Selva nublada	32	21,0-9,0	150-25	7,6-0,5	9,2-7,3	9,1-5,9	56-5	105-9
Bosques bajos	10	30,0-16,0	880-20	16,0-0,8	8,8-6,9	8,5-6,8	390-11	520-9
Promedio		15,2	70,55	2,86	8,06	7,3	30,7	29,28
% CV		26,3	147,7	63,6	5,2	6,8	136,6	17,3

tebrados bentónicos en los ríos en las zonas boscosas obedece a una mayor disponibilidad de material orgánico, de diversidad de hábitats y a mayor cobertura de la ribera por vegetación arbustiva y arbórea que aportan mayor cantidad de materia orgánica gruesa a los ríos.

Desde el punto de vista funcional, en los ríos de la cuenca alta están presentes cinco de los seis grupos funcionales propuestos por Ramírez y Gutiérrez (2014), como son: raspadores, fragmentadores, colectores, filtradores y depredadores. Los colectores y filtradores conforman el grupo más importante en los ríos de toda la cuenca y de gran abundancia en los ríos con altos contenidos de materia orgánica en suspensión; los raspadores son dominantes en los ríos de páramo; los depredadores están en todos los ríos pero en baja abundancia; y los fragmentadores son menos importantes en cuanto a abundancia y presencia en toda la cuenca alta.

Otras investigaciones sobre los macroinvertebrados bentónicos en la cuenca del Chama tratan sobre la composición y distribución de la comunidad de insectos acuáticos (Maldonado 2002, Chacón 2003, Rivera 2004, Morales 2008, Otero y Segnini 2014), las relaciones tróficas (Gamboa et al. 2009ab), la dinámica de poblaciones (Pérez y Segnini 2005, 2010, Gamboa 2010), las interacciones con el ambiente

(Flecker 1992, Flecker y Feifareck 1994, Chacón y Segnini 2007, Cressa et al. 2008, Chacón et al. 2016) y la bioindicación (Correa 2000, Correa 2005, Segnini et al. 2009, Romero 2016). Ninguna especie de macroinvertebrados aparece en el libro rojo de la fauna venezolana (Rodríguez et al. 2015).

7.2) Peces

Los peces son los vertebrados acuáticos mejor conocidos de la cuenca del río Chama. Su taxonomía y distribución altitudinal está documentada desde las zonas más elevadas hasta las zonas más bajas (Taphorn y Lilyestrom 1980, Taphorn y Lilyestrom 1983, Nebiolo 1987, Navidad 1988, Sette 1995, Taphorn et al. 1997, Lasso et al. 2004). En toda la cuenca se han registrado nueve órdenes, 20 familias, 34 géneros y 44 especies. Los Siluriformes y Characiformes son los órdenes que presentan mayor riqueza de familias, géneros y especies (Tabla 7). La trucha arcoíris es la única especie presente en los ríos y quebradas por encima de los 1.700 msnm en la cuenca del río Chama. A pesar de los muestreos históricos y extensivos hasta ahora no existen datos que confirmen la presencia de otros peces por encima de esta cota, aunque en la fichas que existen de las especies *Astroblepus phelpsi*, *Astroblepus orientalis* y *Trichomycterus meridae* en el Libro Rojo de la Fauna

Tabla 6. Abundancia relativa de macroinvertebrados bentónicos en unidades ecológicas en la cuenca alta del río Chama según Chacón (2003), Morales (2008), Segnini et al. (2009), Segnini, datos no publicados. (1) La cuenca alta incluye el páramo, las selvas y otros bosques montanos.

Phylum	Clase	Orden	Abundancia relativa (%)		
			Páramo	Selvas y bosques	Cuenca alta ⁽¹⁾
Arthropoda	Insecta	Diptera	60,51	29,41	43,93
		Ephemeroptera	17,25	46,74	32,97
		Trichoptera	6,65	11,40	9,18
		Coleoptera	3,14	5,08	4,17
		Plecoptera	0,67	2,22	1,50
		Megaloptera	0,23	0,43	0,34
		Odonata	0,06	0,18	0,12
		Lepidoptera	0,08	0,15	0,12
		Hemiptera	0,01	0,09	0,05
		Arachnida	0,36	0,18	0,26
Annelida	Oligochaeta	Hydracarina	1,69	1,32	1,49
		Amphipoda	-	0,05	0,03
		Isopoda	7,26	1,83	4,37
Mollusca	Gastropoda	-	1,81	0,59	1,16
Platyhelminthes	Turbellaria	-	0,25	0,35	0,30

Tabla 7. Número de familias, géneros y especies de los órdenes de peces registrados en la cuenca del río Chama.

Orden	Familias	Géneros	Especies
Siluriformes	9	18	22
Characiformes	5	10	12
Gymnotiformes	2	2	5
Cyprinodontiformes	1	1	2
Salmoniformes	1	1	1
Myliobatiformes	1	1	1
Perciformes	1	1	1
Total	20	34	44

venezolana (Rodríguez et al. 2015) se reseña que la distribución de la primera especie alcanza los 2.000 msnm de altitud y las otras dos especies los 3.500 msnm. Sin embargo, es importante aclarar que en ninguna de las referencias bibliográficas citadas en dichas fichas hay datos que confirmen la presencia de estas especies en ese intervalo de altitud. Es importante la aclaratoria anterior porque esta información no comprobada puede llevar a conclusiones erróneas sobre la biología, historia de vida, ecología e interacción de estas especies con su ambiente y otras especies. Las únicas especies nativas cuya presencia ha sido verdaderamente confirmada en las zonas más bajas del área de distribución de la trucha arcoíris son *Lebiasina erythrinoides* (Ginés et al. 1952) y *Astroblepus orientalis* (Schultz 1944).

Aguas abajo de la confluencia del río Chama con el río Mucujún (1.460 msnm) hasta la entrada del Chama en la planicie aluvial del Lago de Maracaibo hay un aumento considerable en el número de especies, como lo evidencian los resultados de Navidad (1988), quien identificó 39 especies de peces cerca de la ciudad de El Vigía (150 msnm). Las especies *Rineloricaria rupestris*, *Trichomycterus emanueli*, *Trichomycterus meridae*, *Astroblepus orientalis* y *Farlowella curtirostra* son endémicas de los Andes y con excepción de la primera que es considerada vulnerable, las otras cuatro especies están clasificadas en peligro en el Libro Rojo de la Fauna venezolana (Rodríguez et al. 2015). Igualmente, las especies no endémicas *Cetopsorhamdia pickleii*, *Dupouyichthys sapito*, *Astroblepus phelpsi*, y *Cetopsis motatanensis* están incluidas en la categoría en peligro.

7.2.1) Impacto de la trucha sobre la fauna acuática

La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) al ser un pez introducido, con mayor tamaño que las especies nativas y un carnívoro voraz, debe haber tenido un

gran impacto sobre la composición, estructura y funcionamiento de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos y de los peces nativos que le sirven de alimento. Es universalmente conocida la importancia que tienen los macroinvertebrados bentónicos como alimento de la trucha. Hecho que ha sido corroborado por Segnini y Bastardo (1995) en la cuenca del río Chama (Figura 5). Otra evidencia sobre el efecto que tiene la trucha sobre los macroinvertebrados bentónicos la ofrece Flecker (1992). Este autor analizó el impacto que ejerce la trucha sobre la deriva de las ninfas de efemerópteros, la presa que más consume. Tal estudio se efectuó en dos afluentes del río Chama: uno sin truchas (río Albarregas) y otro con trucha (río Frío). Los resultados demostraron que en el río con truchas la densidad de las ninfas de efemerópteros que derivan aguas abajo aumentó significativamente durante la noche y en el río sin truchas esta densidad no cambió a lo largo del día. El autor concluyó que el incremento de la densidad de deriva durante las horas nocturnas en el río con truchas, se puede interpretar como una respuesta adaptativa que minimiza la exposición de las ninfas de los efemerópteros ante la trucha que es un cazador visual y concluye sugiriendo que la depredación es una fuerza evolutiva, que en éste caso, ha modelado el proceso de deriva de las ninfas de efemerópteros. Menos concluyente y más controvertido es el análisis de los efectos que sobre las poblaciones de peces autóctonos ha tenido la presencia de la trucha en los Andes venezolanos. Varios autores sostienen que la trucha es la responsable de la desaparición de especies autóctonas de peces de los cursos de agua de la cuenca del Chama, especialmente de los géneros *Astroblepus* y *Trichomycterus* (Taphorn y Lilyestrom 1981, Péfaur y Sierra 1998). Este supuesto lo soportan de forma indirecta varios estudios hechos en otros países andinos, donde se ha demostrado el impacto negativo que ha tenido la trucha sobre diferentes especies de peces nativos (Mora et al. 1992, Rodríguez 2001, Anderson y Maldonado 2010, Habit et al. 2015). De modo que es muy probable que en Venezuela la trucha también sea la causante de la declinación o desaparición de poblaciones de peces nativos en los ríos donde ella habita. Sin embargo, esto no deja de ser una presunción, lo que permite plantear otra hipótesis alternativa como es la posibilidad de que en las partes altas de los ríos de la Cordillera de Mérida nunca hayan existido peces nativos. Para dar apoyo a esta otra hipótesis consideremos como primer argumento los resultados del primer estudio hecho en Venezuela sobre la presencia de la trucha en los ríos andinos efectuado por Ginés et al. (1952). Estos

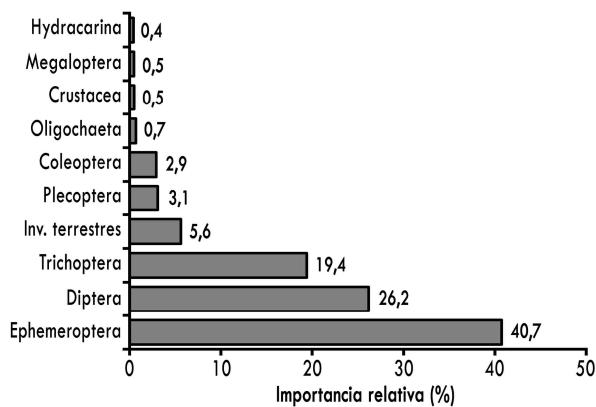


Figura 5. Importancia relativa de los macroinvertebrados bentónicos en la dieta de 319 ejemplares de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) colectadas en el río Mucunután, un afluente del río Chama. Datos obtenidos de Segnini y Bastardo (1995).

autores no encontraron ninguna otra especie de pez distinta a la trucha por encima de los 1.700 msnm después de 14 años de su introducción. Este resultado es intrigante porque este lapso es un tiempo muy corto para que una o más especies de peces nativos hayan sido eliminadas o desplazadas de su hábitat natural. De hecho, en Colombia en ambientes similares a los de la Cordillera de Mérida, todavía coexisten algunos peces nativos con la trucha a pesar del impacto negativo que esta ha ocasionado sobre sus poblaciones desde los años 30 del siglo pasado (Flórez y Sarmiento 1989, Mora et al. 1992, Anderson y Maldonado 2010). Igualmente en Venezuela, Péfaur y Sierra (1998) detectaron en el río Negro, que nace en el macizo del Tamá en el estado Táchira y es afluente del río Uribante, la presencia conjunta de la trucha arco iris, de babositos (*Astroblepus* sp) y de lauchas (*Trichomycterus* sp). Un segundo elemento a considerar es que actualmente en algunos cuerpos de agua de la Cordillera de Mérida no existe ninguna especie de pez, hecho que favorece la hipótesis alternativa antes planteada. Sin embargo, para poder demostrar cuál explicación es correcta, falta mayor esfuerzo de investigación para poder discernir si en los cuerpos de agua altiandinos nunca existieron peces, o si en algún momento los hubo y ya no existen. En todo caso, independiente a los eventos ocurridos, con la información disponible sólo se puede afirmar que ningún otro pez coexiste con la trucha en la totalidad de su área de dispersión.

7.3) Avifauna

En la cuenca del Chama están presentes siete órdenes, dos familias y 18 especies de aves asociadas a

los ambientes acuáticos. El orden Passeriformes es el más diverso con cinco familias y siete especies; le siguen los órdenes Coraciiformes con tres especies; Anseriformes, Gruiformes y Podicipediformes con dos especies cada uno y Charadriiformes y Pelecaniformes con una especie cada uno (Vuilleumier y Ewert 1978, Ramoni et al. 2001, Pelayo y Soriano 2010, Ramoni et al. 2014). El pato de torrentes, *Merganetta armata colombiana*, es el ave acuática con mayor información documental no taxonómica. Su presencia se ha registrado en varios tramos montañosos del cauce principal del río Chama, entre los 2.000 y 3.000 msnm (Rengifo 2008). Su dieta está constituida básicamente por los estados inmaduros de insectos acuáticos, especialmente de los órdenes Diptera (86,4%), Trichoptera (7,9%), Ephemeroptera (4%) y Plecoptera (1,7%). Se estima que en la Cordillera de Mérida el número de ejemplares varía entre 100 y 1.500 individuos (Sharpe y Rojas 2015). Sin embargo, Rengifo (2008) sostiene que como mínimo deben existir al menos 1.500 ejemplares en toda la zona. Actualmente esta especie está incluida en el Libro Rojo de la Fauna venezolana en la categoría de Vulnerable (Rodríguez et al. 2015).

7.4) Mamíferos

La nutria, *Lontra longicaudis annectens*, es el único mamífero acuático cuya presencia en la cuenca del río Chama ha sido documentada. Esta subespecie se distribuye normalmente entre los 600 y 900 m de altitud, aunque hay un registro ocasional a 3.800 msnm. Su principal alimento son peces de las familias Loricariidae (40%), Characidae (19%) y Lebiasinidae (15%) y larvas de insectos del género *Corydalus* del orden Megaloptera (8%) (Rangel et al. 2009). La nutria de los Andes está catalogada como Vulnerable en el Libro Rojo de la Fauna venezolana (Rodríguez et al. 2015).

7.5) Vegetación acuática

La mayor parte de las plantas acuáticas identificadas en la cuenca del río Chama provienen de ambientes lenticos y en menor número de ríos y quebradas. Posiblemente esto sea consecuencia de la mayor riqueza de especies que poseen los cuerpos de agua estancadas. La información existente cubre un extenso intervalo de altitud, desde la Laguna Urao ubicada a 1.024 msnm (Briceño 1979) en la unidad ecológica Arbustal Espinoso, hasta la laguna Mucubají localizada a 3.560 msnm en el Páramo Andino (Morales 1986). También existe información en un rango intermedio entre 1.000 y 2.800 msnm (Gaviria 1982). Algunas de las especies identificadas por este autor fueron colectadas en los ríos Albarregas, Cha-

Tabla 8. Número de órdenes, familias, géneros y especies para las diferentes clases de plantas acuáticas registradas en la cuenca del río Chama. Orden (O), familia (F), género (G), especie (E).

Clase	O	F	G	E
Liliopsida (Monocotiledóneas)	6	15	8	8
Magnoliopsida (Dicotiledóneas)	6	22	8	8
Lycopodiopsida	1	1	1	4
Total	23	38	80	124

ma y Mucujún. En total se contabilizaron 23 órdenes, 38 familias, 80 géneros y 124 especies de travefítas repartidas en tres clases (Tabla 8).

8) Estado de conservación de los ríos de la cuenca del río Chama

Como quedó establecido anteriormente, la agricultura es la actividad humana que más ha producido cambios en el paisaje de la cuenca del río Chama en las últimas décadas, en razón de dos procesos relacionados: i) el aumento de los rendimientos de los cultivos debido a la modernización de la práctica agrícola mediante el uso de nuevos biocidas y fertilizantes, a la introducción de propágulos mejorados genéticamente, a la instalación de mejores sistemas de riego y a la mecanización de las labores de campo; y ii) la introducción de cultivos hacia zonas no aptas para la agricultura como son los terrenos boscosos de alta pendiente, los fondos de valles estrechos y las áreas inundables llenadas como ciénagas y turberas. En el caso de la porción lacustre de la cuenca, el crecimiento agrícola y pecuario se produjo en razón de la conversión de la selva húmeda tropical en extensos pastizales y monocultivos. En cualquier caso, el desarrollo agrícola condujo a una mayor y más eficiente extracción de agua de las fuentes hídricas, a la modificación de los cauces naturales, a un mayor uso de agroquímicos cuyos daños sobre el ambiente son manifiestos, así como a un aumento de la erosión de los suelos y la sedimentación de los cauces.

Todas estas acciones modifican en mayor o menor grado las condiciones hidromorfológicas, fisiocoquímicas y bióticas de los cuerpos de agua, incluyendo el hábitat ribereño, con la consecuente disminución de la calidad y cantidad de los bienes y servicios ecosistémicos que los ríos y quebradas ofrecen. A continuación se presentarán algunas situaciones que demuestran el impacto que sobre los cuerpos de agua corriente ha tenido la actividad humana en la cuenca del Chama.

8.1) Disminución de la oferta de agua

El recurso hídrico en la cuenca intramontana del Chama está representado casi exclusivamente por el escurrimiento superficial. El carácter abrupto y escarpado del relieve montañoso y la relativa escasez de aluviones poco permeables impiden la acumulación de volúmenes importantes de agua subterránea (Vivas 1992). En consecuencia, el agua superficial ha sido siempre la principal fuente de abastecimiento de la actividad agrícola en la cuenca montaña del río Chama, lo que debe haber tenido un gran impacto sobre la disponibilidad hídrica. Esta presunción ha sido verificada por Naranjo y Duque (2004), quienes encontraron que el 70,5% de la oferta anual del agua superficial en toda la cuenca alta del río Chama es utilizada en riego y dotación doméstica. De modo que sólo el 29,5% del caudal anual superficial queda disponible para el resto de usos. Sin embargo, esta situación no es igual para toda la cuenca. Los mismos autores encontraron que la relación ofertademandada de agua varía durante el ciclo anual y se manifiesta de manera diferente en distintas zonas. Al respecto, los resultados muestran que en el 24% de las tierras de la cuenca alta existe un superávit hídrico a lo largo del año (Figura 6A), en tanto que en el 76% restante de las tierras hay problemas de escasez permanente (Figura 6B) o estacional (Figura 6C). La situación antes descrita es preocupante. Para el momento que se efectuó el estudio anterior, la escasez hídrica afectaba, con diferente intensidad, más de las tres cuartas partes de las tierras de la cuenca alta. Es muy probable que esta situación de insuficiencia sea mayor en la actualidad debido al crecimiento sostenido de la población, al mayor uso de la tierra, al aumento de la extracción de agua y a la ausencia de un plan de manejo sostenible del recurso. En el caso de la porción lacustre de la cuenca del Chama no existen problemas con la disponibilidad de agua, puesto que la oferta excede en gran medida la demanda del recurso. Es tanto así que en la zona sur del lago se encuentran reservas subterráneas y superficiales de agua que constituyen cerca del 49% del total anual del escurrimiento anual subterráneo y aproximadamente el 31% del total anual del escurrimiento superficial estimado para toda la cuenca hidrográfica del Lago de Maracaibo (Espinoza 1992). Los conflictos de escasez que padecen algunas localidades se deben más a problemas de carácter administrativo relacionados con la distribución y suministro del recurso.

8.2) Contaminación del agua

Los desechos provenientes de labores agrícolas, pecuarias, piscícolas, industriales, domésticas y de cual-

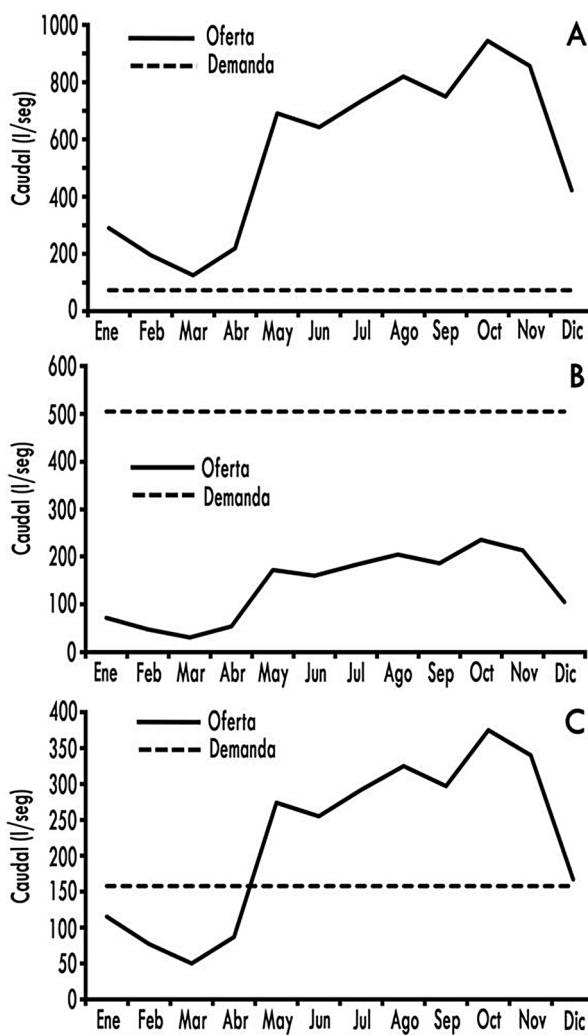


Figura 6. Oferta y demanda del agua de la cuenca alta del río Chama. A) Zona con superávit de agua todo el año (Unidad hidroeconómica de Gavidia); B) Zona con déficit de agua todo el año (Unidad hidroeconómica Misintá-La Musuy) y C) Zona con déficit estacional anual (Unidad hidroeconómica Granate-La Negra). Datos tomados de Naranjo y Duque (2004).

quier otro uso antrópico practicado en la cuenca, son transportados por las aguas de escorrentía, residuales y las corrientes de mayor tamaño hasta el río Chama, cuyo caudal conduce esta carga de residuos hacia las zonas más bajas de la cuenca y la vierte en el receptor final que es el Lago de Maracaibo. Estos desechos son una mezcla de sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, organismos patógenos y otros elementos sólidos en solución o suspendidos. La mayoría son elementos contaminantes que afectan la calidad de las corrientes de agua por donde circulan. Entre los mayores contaminantes hídricos presentes en la cuenca del río Chama destacan los residuos

químicos provenientes del uso de plaguicidas y fertilizantes utilizados en la agricultura y la cría de animales. Una de las zonas de la cuenca que tiene grandes problemas de contaminación del agua, es la subcuenca del río Mocotíes donde existe una intensa producción de hortalizas, frutas y flores. De acuerdo a Benítez y Miranda (2013), para el año 2002 se usaron cerca de 280 g de plaguicida por cada metro cuadrado de superficie cultivada. Esta situación, debe haberse agravado. Aunque no se dispone de información actualizada, se estima que desde entonces, el consumo de plaguicidas en las labores agrícolas debe haber aumentado considerablemente, en razón que la superficie cultivada se incrementó un 44% en el lapso 2002 y 2010. Este uso excesivo de agroquímicos también se ha evidenciado en las aguas corrientes. En algunos ríos de la subcuenca del Mocotíes, se han encontrado altos contenidos de plaguicidas organofosforados que superan los límites máximos permitidos por la legislación venezolana, una de las menos exigentes en el ámbito internacional (Molina et al. 2012, Benítez y Miranda 2013).

Entre los compuestos químicos encontrados en el agua están algunos organofosforados (clorpirifos, diazinón, dimetoato y metamidofos), que son insecticidas catalogados internacionalmente como extremadamente peligrosos, debido al efecto que producen sobre el sistema nervioso central y periférico, los músculos, el hígado y el páncreas de los vertebrados (Molina et al. 2012). También se ha detectado la presencia de agroquímicos en el agua de algunos acueductos que surten a diferentes localidades, tal y como lo demuestran los resultados de Flores et al. (2011), quienes detectaron la presencia de 10 plaguicidas de diferente tipo (organofosforados, carbamatos, triazinas y derivados de urea), en el agua potable. En algunos casos las concentraciones de estas sustancias excedieron los niveles máximos recomendados internacionalmente.

Otro grupo de plaguicidas que están contaminando el agua de los sistemas de abastecimiento en la subcuenca del Mocotíes, son los organoclorados. Al respecto, Flores (2009) encontró que algunos insecticidas (Aldrín y Endosulfán I) presentaron concentraciones, que aunque no superan los niveles máximos permitidos en el agua para el consumo humano por la legislación venezolana, están por encima de los establecidos en el ámbito internacional, lo que igualmente invalida su uso para el consumo humano. Sin embargo, el aspecto más relevante a destacar, además de la alta concentración, es la simple presencia de estos productos en el agua, puesto que su uso está prohibido internacionalmente y en Venezuela es restringida su aplicación desde 1983, de modo que los

compuestos organoclorados se están utilizando ilegalmente, según lo refieren Benítez y Miranda (2013).

Los ríos Chama y Mocotíes, recogen prácticamente el total de las descargas de agua superficiales de toda la cuenca intramontana. Después de su unión (350 msnm), todo el cúmulo de contaminantes producidos en la zona montaña son transportados aguas abajo por el río Chama hasta la porción lacustre de su cuenca. Esta carga de contaminantes, convierte al río Chama en uno de los afluentes del Lago de Maracaibo que mayor impacto producen sobre la calidad del agua del lago, siendo previsible que el río Catatumbo represente otro mayor aporte al lago (ver Rincón 2017). De acuerdo a Rivas et al. (2005, 2009) el río Chama es, entre los ríos provenientes de la Cordillera de Mérida, el que aporta mayor volumen de agua, sólidos suspendidos, materia orgánica y nutrientes, contribuyendo consecuentemente a la eutrofización y contaminación del lago. Igual situación ocurre con la carga de metales pesados. Los sedimentos superficiales de las tierras adyacentes al lago, por donde fluyen los ríos Santa Ana, Catatumbo, Escalante, Chama y Motatán presentan concentraciones muy elevadas de vanadio, plomo y níquel (Ávila et al. 2014).

La contaminación orgánica derivada de la actividad humana es otra de las causas del deterioro de numerosos ríos de la cuenca del Chama. Aunque son diversas las fuentes que originan este tipo de contaminación, la mayoría están relacionadas con los desechos provenientes de la cría de animales, del uso de fertilizantes orgánicos y de las aguas residuales del uso doméstico. Los vertidos provenientes de estas fuentes transportan una carga importante de materia orgánica suspendida y en solución, nutrientes y patógenos. Los ríos Chama y Mocotíes que son los recolectores principales de las aguas drenadas en toda la cuenca, están recibiendo a lo largo de buena parte de su trayecto la descarga directa o indirecta de los desechos de las ciudades y pueblos más importantes del estado Mérida, muchos de los cuales están asentados en las márgenes de ambos ríos (Tabla 1). En el caso particular del Chama, el río recibe aguas residuales en casi todo su recorrido, desde que el curso de agua abandona los terrenos del Parque Sierra de la Culata en el páramo andino (3.700 msnm) hasta que llega al Lago de Maracaibo. Los efectos de esta contaminación orgánica se expresan en toda la extensión del curso del río, modificando su estado ecológico como se verá más adelante. Este deterioro del Chama es potenciado con la descarga de agua que recibe de dos de sus afluentes más importantes, los ríos Mucujún y Albarregas. El río Mucujún, que es la mayor fuente de abastecimiento

de agua de la ciudad de Mérida, presenta un alto grado de contaminación por residuos orgánicos producidos en los asentamientos campesinos, las instalaciones turísticas y por la actividad agropecuaria (Grimaldo 1978, Rincón 1994). Igualmente sucede con el río Albarregas, que después de atravesar longitudinalmente toda la ciudad de Mérida vierte sus aguas contaminadas en el río Chama. Burguera et al. (1986) detectaron que la carga de bacteria coliformes presentes en casi todo el trayecto urbano del río Albarregas, presentó valores superiores a $2,4 \times 10^5$ NMP/ml en coliformes fecales y totales, en tanto que la carga de enterococcus y mesófilos aeróbicos fue superior a 1×10^4 UFC/ml.

Todos estos valores indican un alto grado de contaminación orgánica del río Albarregas. Esta situación debe ser mucho más grave actualmente, porque el río sigue funcionando como una cloaca abierta para los desechos producidos por una población mucho mayor, además que no se ha podido concretar el desarrollo del Parque Metropolitano Albarregas, proyecto que data de la década de los años 70 del siglo XX y que vendría a solucionar en parte el problema de la contaminación de este río (Burguera 2005).

La contaminación orgánica también está presente en la parte baja de la cuenca como lo demuestran los resultados obtenidos por Rivas et al. (2005). Estas autores encontraron para seis ríos que desembocan en el sur del Lago de Maracaibo que la concentración promedio de nitrógeno total fue de 37,96 mg/l (5,9-104,2 mg/l) y que fue el río Chama el que presentó el mayor promedio. Igual situación fue detectada para la carga de bacterias coliformes. En este mismo estudio se estimó que la concentración promedio de coliformes totales para los seis ríos estudiados fue de $1,9 \times 10^4$ NMP/100 ml y de coliformes fecales de $0,8 \times 10^4$ NMP/100 ml, valores que indican una alta contaminación microbiana. El río Chama fue entre los ríos evaluados, el que presentó los mayores valores promedios de bacterias coliformes. Los altos valores de nitrógeno total y de coliformes detectados en el agua del río Chama, evidencian su alta carga de contaminantes orgánicos, que muy posiblemente sean vertidos por las aguas domésticas servidas y las aguas de escorrentía.

8.3) Cambio climático

En los Andes tropicales los valores promedios de temperatura entre 1939 y 2006 se han incrementado para toda la región alrededor de 0,7 °C (Vuille 2013). Algo similar ha ocurrido en el ámbito local de los Andes venezolanos. Es el caso de la temperatura media en la ciudad de Mérida (1.479 msnm), que

entre 1951 y 2008 aumentó en 1,39 °C (Peñaloza y Delgado 2015). Entre las consecuencias que ha tenido sobre el ambiente andino el aumento en la temperatura, están las alteraciones de la estacionalidad e intensidad de las precipitaciones, el derretimiento de los glaciares y el desplazamiento a mayor altitud de los límites que definen las diferentes franjas de vegetación. Todos estos cambios impactan a los humedales andinos, puesto que su existencia y estabilidad depende tanto del agua aportada por la precipitación y los glaciares, como de la capacidad de retención hídrica de los suelos.

Se estima que como consecuencia del incremento sostenido de la temperatura ambiente en las próximas décadas habrá una disminución del promedio anual de precipitaciones en las zonas andinas que actualmente son muy húmedas y será mayor el área cubierta por los valles andinos con una precipitación anual menor a 800 mm (Martelo 2004). Igualmente se ha simulado el efecto que tendrán los cambios de precipitación sobre el caudal del río Chama. Sin embargo, los resultados son contradictorios. Un modelo (CCC-EQ) predice que el caudal medio anual (estimado con IC del 95%) disminuirá significativamente en los próximos 50 años y otro modelo (UKTR), usando los mismos datos y el mismo Escenario Climático Intermedio, estima que para ese mismo lapso de tiempo el caudal medio del río aumentará significativamente (MARN 2005). De acuerdo con Martelo (2004), esta discrepancia en la predicción de los dos modelos es debido a que el modelo UKRT simula incrementos de la precipitación en el trimestre marzo-mayo por lo que el efecto simulado sobre los Andes es mínimo (ni siquiera 3% en el peor de los casos).

La elevación de la temperatura ambiente ha tenido efectos pronunciados sobre los glaciares de la Sierra Nevada de Mérida. Estas masas de hielo llegaron a ocupar un área estimada de 200 km² en el Pleistoceno, que se redujo a 10 km² para 1910 y a 3 km² para 1952, lo que representa una disminución aproximada del 98,5% con relación al área ocupada originalmente (Schubert 1992, 1998). Este proceso se ha acelerado en las últimas décadas, hasta el punto que desde 1972 han desaparecido por completo tres glaciares, disminuyendo el área ocupada a menos de 2 km² que representan menos del 1% de la superficie original ocupada por glaciares (Schubert 1998). Esta pérdida de masa de los glaciares se ha traducido en una disminución del volumen de agua retenida en forma de hielo y en un consecuente aumento de la escorrentía, que se intensifica en la estación lluviosa. Este aporte de agua de escorrentía cada vez mayor produce el desborde de las aguas estancadas y el

aumento de la descarga de los ríos, con posibles efectos catastróficos tanto para las poblaciones humanas como para la biota terrestre y acuática (Döll y Bunn 2014). El tercer aspecto importante derivado del calentamiento global es el desplazamiento de las selvas nubladas y el páramo hacia zonas más elevadas. Suárez del Moral et al. (2011) modelaron los cambios que sobre el bosque de los páramos de la Cordillera de Mérida tendrán la temperatura y las precipitaciones bajo dos escenarios de cambio climático y encontraron que las pérdidas del bosque de páramo en favor de otras formaciones boscosas variaran entre 7% y 36% de su superficie actual, dependiendo del escenario de cambio usado.

El conjunto de impactos reales y potenciales que se han analizado y discutido en esta sección vislumbra un panorama preocupante, porque de mantenerse estos efectos negativos sobre los humedales andinos, es muy probable que en un futuro no muy lejano estos sistemas no puedan producir la cantidad de agua necesaria para satisfacer la demanda hídrica de las poblaciones humanas y la biota acuática y terrestre que habita las extensas regiones que dependen de sus servicios ambientales.

8.4) Estado ecológico de los ambientes fluviales

Conceptualmente el estado ecológico es una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de las aguas corrientes superficiales estimada desde una serie de indicadores biológicos, físico-químicos e hidromorfológicos y comparadas con la calidad de la estructura y función de corrientes de aguas naturales con ninguna o poca presión antrópica. En la literatura existen varios términos como integridad biológica, calidad ecológica, calidad biológica, etc. que aunque parecen equivalentes son más restrictivos que el estado ecológico. En el contexto de este documento se ha usado estado ecológico por ser un concepto amplio que integra la calidad biológica del cuerpo de agua, las propiedades físicoquímicas del agua, las características hidráulicas y morfológicas del cuerpo de agua y su cauce, así como la condición de la vegetación ribereña. Existen varios protocolos para evaluar el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos, así como varios esquemas que clasifican los cuerpos de agua de acuerdo a su estado ecológico, con categorías que cubren un continuo de condiciones entre muy buenas y muy malas.

Entre los tres tipos de indicadores mencionados previamente, los biológicos son los más relevantes puesto que su condición es la que determina en definitiva el estado ecológico de los ambientes acuáticos (Ruza 2008). Entre los indicadores biológicos o bioindicadores uno de los grupos faunísticos más usado

es el de los macroinvertebrados bentónicos, especialmente en aquellos ambientes acuáticos donde es baja la diversidad de peces, como es el caso de los ríos de montaña en los andes venezolanos.

Para el río Chama existen algunos estudios sobre el estado ecológico de los ríos de la cuenca alta usando macroinvertebrados bentónicos. En términos generales estos estudios han evidenciado que los ríos de la cuenca alta están siendo muy afectados por las actividades humanas. Correa (2005) evaluó el estado ecológico de 26 ríos de Selva Nublada y Páramo usando un Índice de Integridad Biótica y encontró que sólo ocho (31%) tenían un estado ecológico bueno. Resultados similares publicaron por Segnini et al. (2009), quienes mediante el índice biótico BMWP, evidenciaron que el 65% de los sitios estudiado en 22 ríos de selva nublada (1700-2800 msnm) presentaron un estado ecológico entre aceptable y malo (Tabla 9). Igualmente, Romero (2016) encontró que el 65% de 33 puntos fluviales estudiados en 18 ríos de páramo y evaluados con un índice de integridad biótica, presentaron un estado ecológico pobre o muy pobre (Figura 7). Estos resultados acerca del estado ecológico de los ríos de la cuenca alta del río Chama son preocupantes, situación que también ha sido reportada en otros ríos de montaña con origen andino (ver Rodríguez-Olarte et al. 2017). Por una parte, existe una proporción apreciable de ríos con un estado ecológico muy pobre en las zonas de páramo y de selva nublada, que son los ambientes con mayor producción de agua de los andes, y por otra parte, que el deterioro es mucho mayor en los ríos de páramo. Al respecto, Romero (2016) encontró que en las partes bajas del páramo hay una mayoría de sitios con un estado ecológico pobre o muy pobre, lo cual es asociado a un aumento de la presencia humana y de sus actividades en la medida que disminuye la altitud y las condiciones climáticas y del relieve son menos rigurosas. Otro hecho importante que señalan los estudios citados, es que la mayoría de los sitios estudiados sobre o cerca del cauce principal del Chama, en el trecho comprendido entre 1750 y 3600 msnm, presentan un grave deterioro ecológico, especialmente en la zona de páramo. Este hecho demuestra que los ríos de la cuenca alta del Chama están siendo perturbados severamente a lo largo de todo su recorrido, incluyendo los ríos de las zonas altas, que por nacer en zonas montañosas se esperaría fuesen los mejor conservados. Aunque los métodos usados no permiten atribuir a un único factor la pérdida del estado ecológico de los ríos, pues muchos actúan a baja intensidad y en forma aleatoria tanto en el tiempo como en el espacio, lo más probable es que el río sea afectado por múltiples

factores como la extracción excesiva de agua, la contaminación, los cambios en patrones de precipitación y el deshielo de los glaciares, cuya condición y efectos sobre el ambiente andino fueron analizados en párrafos previos.

Por otra parte, Romero (2016) considera que la pérdida o reemplazo de la vegetación ribereña nativa es uno de los factores locales que más contribuye a la pérdida del estado ecológico de los ríos de páramo, puesto que en la mayoría de los sitios de los ríos estudiados por este autor, la vegetación ribereña presentaba grandes modificaciones en su composición y estructura, o había sido reemplazada por plantas invasoras. Esta situación es crítica en el caso de los ríos de páramo. La vegetación natural de páramo está dominada por gramíneas y arbustos de poca altura, fácilmente removibles pero difíciles de reemplazar por su alta especialización y adaptación a condiciones rigurosas y extremas. Por lo tanto, la vegetación en las riberas de ríos y quebradas en los páramos es muy frágil y sensible a las perturbaciones de su ambiente. Sin embargo, cumplen una función extremadamente importante en el mantenimiento y estado ecológico de los cursos de agua, al servir como corredor ecológico, mantener la estabilidad de márgenes, aumentar, los niveles freáticos de agua y por interceptar el paso directo hacia los cauces del agua de escorrentía con su carga de sedimentos, nutrientes y agentes contaminantes. Por el contrario, la ausencia de la vegetación ribereña dificulta la percolación del agua hacia el subsuelo, facilita el paso hacia el cauce de un mayor volumen del agua de escorrentía y a una mayor velocidad. Esto genera una mayor inestabilidad de las orillas de los cauces e incrementa la entrada de sólidos disueltos y suspendidos en los cauces, todo lo cual produce cambios notables en la calidad y funcionamiento del ecosistema fluvial.

9) Conclusiones y consideraciones finales

Con la información recopilada en este trabajo se proporciona una visión general de la fisiografía, el estado de conservación, los principales problemas y las posibles amenazas que se prevén en la cuenca hidrográfica del río Chama. Desde el punto de vista fisiográfico la cuenca de Chama está dividida en dos unidades física y geomorfológicamente muy diferentes, con una historia distinta en cuanto al poblamiento, uso de la tierra y conservación. La primera unidad la componen todos los ríos que nacen en la Cordillera de Mérida (cuenca intramontana) que confluyen en dos grandes cauces colectores: el río Chama y su principal afluente el río Mocotíes. La cuenca del Chama presenta un pronunciado gra-

Tabla 9. Valores del Índice Biótico BMWP y clasificación de ríos de las subcuencas del río Chama y Mucujún de acuerdo al grado de intervención (I) y condición de conservación (C). Modificado de Segnini et al. (2009).

Subcuenca río Chama					
Sitios	Altitud (msnm)	BMWP	Clases BMWP	Grado de intervención	Condición de conservación
La Sucia	1935	107,7	> 107	Mínima	Alta
Albarregas	1860	105,8			
La Picón	2200	103,0			
La Carbonera	2625	96,0			
El Cardenillo	2175	95,5	91 - 107	Leve	Buena
El Granate	2100	92,2			
El Oro	2189	92,0			
La Leona	1785	90,0			
La Portuguesa 1	1775	86,5			
La Fría	1930	84,0			
Chama 6	1750	76,7	68 - 90	Importante	Media
La Coromoto	2005	72,3			
La Mucuy	1770	69,0			
La Esttí	2160	51,3			
Mucunután	1820	47,0	34 - 67	Grave	Escasa
Chama 5	2420	18,7	< 34	Muy Grave	Mala
Subcuenca Río Mucujún					
Sitios	Altitud (msnm)	BMWP	Clases BMWP	Grado de intervención	Condición de conservación
La Carbonera 1	2315	113,2	> 107	Mínima	Alta
La Cuesta 1	2210	111,6			
El Robo 1	2290	89,0			
La Mucujún	1930	82,5	68 - 90	Importante	Media
La Carbonera 2	2055	71,5			
La Cuesta 2	1820	66,1			
El Robo 2	2000	63,6			
La Caña	2500	62,8	34 - 67	Grave	Escasa
El Arado	2250	58,8			
Mucujún 2	2065	45,4			

diente alto-térmico y dos patrones de lluvia: uno unimodal en las zonas alta de la cuenca y otro bimodal hacia las zonas más bajas. A lo largo del gradiente de altitud se disponen escalonadamente varias franjas bioclimáticas que están conectadas mediante una extensa red hidrológica. Este sistema hídrico muestra características morfológicas e hidrológicas muy variables, desde cursos de agua que corren encajonados entre dos vertientes, con cauces estrechos, escalonados, de alta pendiente y caudales

torrentosos, hasta aquellas corrientes de agua que discurren lentamente por valles intramontanos de poca inclinación, con lechos relativamente amplios y algunas veces anastomosados. Aunque la biota es muy diversa, sólo existe información documentada para algunos grupos de organismos como peces, invertebrados, aves, mamíferos y macrofitas. El poblamiento de la cuenca intramontana se remonta a la época prehispánica y desde entonces el extenso valle longitudinal que forman los ríos Chama y Mocotíes,

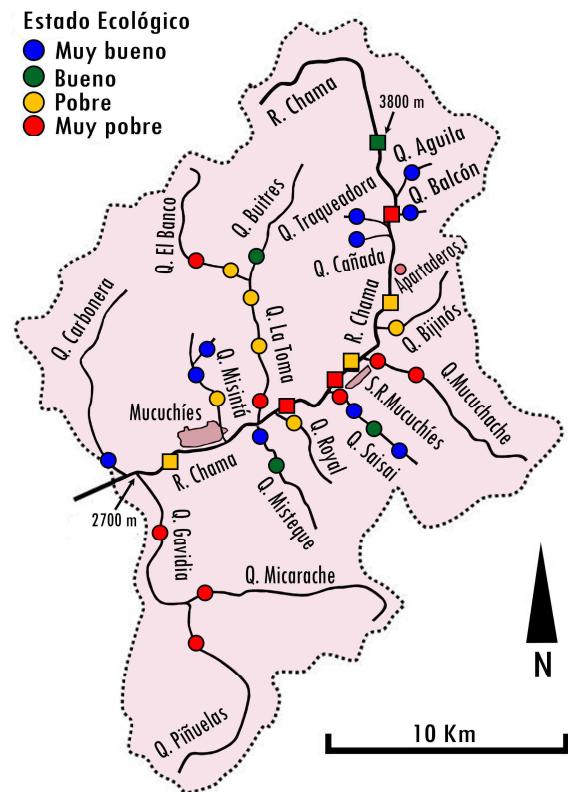


Figura 7. Localización y estado ecológico de 34 sitios en ríos (R) y quebradas (Q) en la cuenca alta del río Chama, Datos de Romero (2016), Correa (2005) y Segnini et al. (2009).

ha sido asiento de uno de los principales núcleos demográficos de la cordillera de Mérida. Actualmente la cuenca del Chama alberga el 70% de la población del estado Mérida.

La segunda unidad fisiográfica está ubicada sobre la planicie aluvial del Lago de Maracaibo (cuenca lacustre), la cual se conoce como Zona Sur del Lago. En esta unidad la cuenca está definida únicamente por el cauce principal del río Chama pues no tiene afluentes y sólo recibe el aporte de las aguas de escorrentía. El relieve es mucho más homogéneo que el de la cuenca montaña, la temperatura es relativamente cálida y el patrón estacional de lluvia es marcadamente bimodal y está catalogada como una de las zonas de la cuenca con mayor abundancia anual de precipitaciones. El curso del río muestra una gran variabilidad espacial y temporal por su poca inclinación y a la gran carga de sólidos que transporta. El cauce tiene numerosas islas y bancos que contribuyen a que el curso del río tenga tramos anastomosados, con meandros y con forma de delta en su desembocadura. La biota acuática mejor conocida son los peces, con una diversidad de espe-

cies notablemente mayor que la registrada para la cuenca montaña. No existe información disponible para otros grupos de organismos acuáticos y semiacuáticos. La ocupación de la tierra se inició en forma importante desde mediados del siglo XX y fue caracterizada por una enorme deforestación. De la vegetación natural originaria conformada por selvas tropicales sólo quedan remanentes. Actualmente la mayor parte de la tierra está ocupada por grandes mococultivos como el plátano y numerosas fincas ganaderas.

Como consecuencia del crecimiento poblacional, la deforestación, la expansión de la agricultura y la ganadería, la extracción excesiva de agua, el uso irracional de biocidas, la descarga de aguas servidas, el deshielo de los glaciares y los cambios en la intensidad y frecuencia de las precipitaciones, muchos de los ríos que conforman la cuenca han disminuido su caudal anual, están contaminados y su estado ecológico se ha deteriorado gravemente. El río Chama, al ser el colector principal de las aguas superficiales de toda la cuenca recibe, a lo largo de todo su recorrido, el impacto directo o indirecto de todos los factores de perturbación que operan tanto en el ámbito local como en la escala de paisaje. Esta situación ha sido determinante para que el curso principal del río presente un pobre estado ecológico en toda su extensión, desde el páramo hasta el lago de Maracaibo. Si como se acaba de afirmar el impacto de todos los factores de perturbación se ha reflejado en una disminución de la cantidad y calidad de los diferentes bienes y servicios que ofrecen los ríos de la cuenca del Chama, es necesario buscar soluciones para mejorar el estado actual de los ríos y enfrentar los problemas venideros.

El modelado de los cambios futuros del clima en los andes venezolanos, en un escenario climático intermedio, anticipan que en un mediano plazo, se producirá un incremento de la temperatura ambiente, una disminución de las precipitaciones en las zonas altoandinas y la disminución del caudal de los ríos, lo que tendría un impacto negativo sobre la calidad y uso de las aguas corrientes. Si a este deterioro de origen global se le añade un deterioro creciente causado por factores de perturbación locales, la situación futura de las aguas corrientes de los Andes no es halagadora.

No es fácil encontrar solución que revierta inmediatamente el proceso de deterioro antes referido, dado el número y complejidad de los factores que se deben considerar. Sin embargo, en el ámbito regional, si se puede comenzar a buscar soluciones para mitigar el deterioro de los ambientes terrestres y acuáticos andinos, mediante el desarrollo de es-



Figura 8. (a) quebrada Mifafí, naciente del río Chama (Páramo Altandino 3.850 msnm; 8°51'46" N, 70°51'53"W); (b) quebrada Saisai (Páramo Andino, 3.535 msnm, 8°44'90"N, 70°51'16"W); (c) río Chama - cuenca alta (Bosque Siempre Verde Seco Montano Alto, 2.730 msnm, 8°44'16" N, 70°56'10"); (d) quebrada La Picón (Selva Nublada Montano Alta, 2.200 msnm, 8°37'56" N, 71°02'16"W); (e) río Chama - cuenca media (Selva Semicaducifolia Montana, 700 msnm, 8°28'58"N, 71°20'38"W); (f) río Chama - cuenca baja lacustre (Selva Húmeda Tropical, 108 msnm, 8°36'38"N, 71°37'58"W). Fotografías: a-d (Samuel Segnini), e-f (Ingrit Correa).

trategias y planes de acción que contribuyan a mediano y largo plazo a lograr su conservación y uso sostenible. En este sentido es necesario enfatizar que el éxito de cualquier acción orientada hacia este propósito, depende en primer término de las comunidades locales, rurales y urbanas, que son las beneficiarias directas e inmediatas de los servicios ambientales de los recursos hídricos. El componente humano, en estas instancias de organización, debe asumir en forma consciente el problema y participar activamente en la búsqueda de soluciones, en la cuales también deben estar comprometidos los entes gubernamentales y no gubernamentales locales y nacionales, el sector productivo en sus diferentes expresiones (industria, comercio, turismo, agricultura y ganadería, entre otros), así como las instituciones académicas y de investigación relacionadas con la conservación ambiental. Pero más allá del compromiso es necesario jerarquizar en el tiempo las acciones a emprender de acuerdo a su importancia.

En perspectiva, el desarrollo de cualquier programa para la restauración, conservación, preservación y sostenibilidad de los ambientes acuáticos de los Andes debe tener inicialmente dos propósitos prioritarios: el primero debe enfocarse en estimular y apoyar el desarrollo de nuevo conocimiento científico y técnico en ambientes naturales andinos que contribuya a la implementación de soluciones y sirva de soporte a los programas relacionados con el mantenimiento de la salud de los ríos. El segundo propósito debe tener como finalidad usar este conocimiento para educar y concientizar a todos los componentes sociales acerca de la importancia del agua no sólo como un elemento vital para la subsistencia y el desarrollo económico, social, ambiental, recreacional y cultural de la región y del país, sino también para advertirles sobre el riesgo que existe de perder estos beneficios a muy corto plazo dada la acelerada disminución de la calidad y cantidad de agua que están afrontando la cuenca del río Chama y otras cuencas hidrográficas de los Andes desde mediados del siglo pasado, situación que se agravará y afectará, como se vislumbra según las evidencias científicas, a toda la región andina en un futuro no muy lejano.

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento al editor por darnos la oportunidad de contribuir a mejorar la divulgación del conocimiento sobre los ríos andinos; a los revisores anónimos cuyas observaciones mejoraron este trabajo; al CDCHTA de la Universidad de Los Andes por el aporte de fondos (Proyecto C-1797-12-01-A) que permitió obtener buena

parte de la información de campo que soporta esta publicación; a Ingrid Correa por el apoyo en la elaboración de los mapas y aporte fotográfico; y a todos aquellos autores de cuyas investigaciones hemos obtenido información que nos ha permitido describir objetivamente y desde diferentes perspectivas la condición ambiental del río Chama.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Cooperación Internacional del Japón (ACIJ). 1990. *Estudio sobre el Proyecto de Conservación de La Cuenca del Río Chama*. Informe Principal. Universidad de Los Andes.
- Aldana D., A. y Bosque, J. 2008. Cambios ocurridos en la cobertura/uso de la tierra del Parque Nacional Sierra de la Culata. Mérida-Venezuela. Período 1988-2003. *Geo-Focus*. 8: 139-168
- Allan, J. D. y Castillo, M. M. 2007. Stream Ecology. Structure and function of running waters. 2ed. Dordrecht, Springer.
- Anderson E. P. y Maldonado-Ocampo, J. A. 2010. A Regional Perspective on the Diversity and Conservation of Tropical Andean Fishes. *Conservation Biology*. (25)1: 30–39
- Andressen, R. y Ponte, R. 1973. *Climatología e Hidrología de los ríos Chama y Capazón. Sub-proyecto No. II*. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Los Andes-Mérida, Venezuela.
- Aranguren, A. 2009. *Caracterización de comunidades leñosas estacionalmente secas premontanas y montanas en el estado Mérida*. Tesis Doctoral. Postgrado de Ecología Tropical. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela.
- Ataroff, M. y Sarmiento, L. 2003. *Diversidad en Los Andes de Venezuela. I Mapa d Unidades Ecológicas del Estado Mérida*. CD-ROM, Ediciones Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela.
- Ataroff, M. y Sarmiento, L. 2004. Las unidades ecológicas de los Andes de Venezuela. (pp. 9-26). In: E. La Marca y P. Soriano (eds.). *Reptiles de Los Andes de Venezuela*. Fundación Polar, Codepre-ULA. Fundacite-Mérida. Biogeos. Mérida.
- Atkinson, J. M. 2008. *Contaminación del río Albarregas ¿Delito ambiental continuado? (Municipio Libertador del Estado Mérida, Venezuela)*. Tesis de Maestría. Postgrado en Desarrollo Agrario. Facultad de Ciencias Políticas y Criminológicas. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela.
- Ávila, H., Quintero, E., Angulo N., Cárdenas, C., Araujo, M., Morales, N. y Prieto, M. 2014. Determinación de metales pesados en sedimentos superficiales costeros del Sistema Lago de Maracaibo, Venezuela. *Multiciencias*. 14(1): 16-21.
- Bastardo, H., Infante, O. y Segnini, S. 1994. Hábitos alimenticios de la trucha arcoíris, *Oncorhynchus mykiss* (Salmoniformes: Salmonidae) en una quebrada altiandina venezolana. *Revista de Biología Tropical*. 42(3): 687-695.
- Benítez-Díaz P. y Miranda-Contreras, L. 2013. Contaminación de aguas superficiales por residuos de plaguicidas

- en Venezuela y otros países de Latinoamérica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental.* 29: 7-23
- Briceño B. 1979. *Estudios morfológicos y taxonómicos de las espermatofitas de la laguna de Urao en Lagunillas.* Tesis de Grado de la Licenciatura en Biología. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela.
- Burguera, L. 2005. *Ríos y municipios como proyectos socio ambientales: ciudad educativa, sociedad educativa. El caso de Mérida y el río Albarregas, por el desarrollo sustentable local.* 2a Ed. Casa Editorial de Mérida. INMECA. Mérida Venezuela. 2a Ed.
- Chacón M. M. y Segnini S. 2007. Óptimos y Tolerancias Ambientales para las ninfas de Ephemeroptera en un Gradiente Altitudinal en la Cordillera de Mérida, Venezuela. *Entomología Mexicana.* 6: 225-230
- Chacón, M. M. 2003. *Comunidades de Ephemeroptera (Insecta) en la cuenca del Río Chama y su relación con la variabilidad ambiental.* Tesis doctoral. Postgrado de Ecología Tropical. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes, Mérida. Venezuela.
- Chacón, M. M., Pescador, M. y Segnini, S. 2010. The adult and redefinition of the genus *Prebaetodes* Lugo-Ortíz y McCafferty (Ephemeroptera: Baetidae), with description of a new species from Venezuela. *Aquatic Insects.* 32(2): 143-157.
- Chacón, M. M., Segnini, S. y Briceño, D. 2016. Temperatura y emergencia diaria de siete géneros de Ephemeroptera (Insecta) en un río de la Selva Nublada de los Andes Tropicales. *Revista de Biología Tropical.* 64 (1): 117-130.
- Chacón, M. M., Segnini, S., Pescador, M. L. y Hubbard, M. D. 2009. Mayfly (Ephemeroptera) Fauna of Venezuela: Checklist of Species. *Ephemeroptera Galactica. Check List.* 5(3): 723–731.
- Chacón-Moreno E., Andressen R., Llambí L. D. y Schwarzkopf, T. 2013. Impacto del Cambio Climático en los Andes venezolanos. Una visión ecológica. (pp: 13-19). En: Memorias Primer Simposio Nacional Sobre Cambio Climático: Perspectivas Para Venezuela. Caracas, Venezuela, 28 al 29 noviembre.
- Chaves, L. F. 1985. Crecimiento histórico y desarrollo de sistemas de asentamiento de Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana.* 27 y 28: 23-42.
- Contreras, M. y Portillo, F. 2015. *Estudio multitemporal de la cobertura de la tierra. Cuenca del río Mocotíes. Periodo (1986-2001-2012). Propuesta con fines conservacionistas.* Trabajo Especial de Grado. Escuela de Geografía. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Contreras-Ramos, A. 2002. Six New Species of Dobsonflies from Venezuela (Megaloptera: Corydalidae: Corydalinae). *Aquatic Insects.* 24(1): 55–75
- Correa, I. 2000. *Determinación de la contaminación orgánica de los ríos de la Cuenca Alta del río Chama mediante el uso de Índices Bióticos con Macroinvertebrados Bénticos.* Tesis de Grado de la Licenciatura en Biología. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela.
- Correa, I. 2005. *VARIABLES REGIONALES Y LA CONDICIÓN ECOLÓGICA DE*
- rios en la Cuenca Alta del Río Chama.* Tesis de Maestría. Programa de Postgrado en Manejo de Cuencas Hidrográficas. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Los Andes Mérida. Venezuela.
- Cressa, C., Maldonado, V., Segnini, S. y Chacón, M. M. 2008. Size variation with elevation in adults and larvae of some Venezuelan stoneflies (Insecta: Plecoptera: Perlidae). *Aquatic Insects.* (30)2: 127-134.
- Doll, P. y Bunn, S. E. 2014. Cross-chapter box on the impact of climate change on freshwater ecosystems due to altered river flow regimes. (pp: 143-146). In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects.* Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C. B., V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandre y White L. L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Espinosa A. 1992. *Sinopsis fisiográfica de la región zuliana.* Academia Nacional de Ciencias Económicas. Caracas.
- Flecker A. 1992. Fish predation and the evolution of invertebrate drift periodicity: Evidence from neotropical streams. *Ecology.* 73(2): 438-448.
- Flecker A. y Feifarek, B. 1994. Disturbance and the temporal variability of invertebrate assemblages in two Andean streams. *Freshwater Biology.* 31: 131-142.
- Flores, F. y Sarmiento, N. G. 1989. Observaciones ecológicas sobre el pez capitán *Eremophilus mutisii* Humboldt 1805 (Pisces: Trichomycteridae) en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, Colombia. *Acta Biológica Colombiana.* 1(5): 99-115.
- Flores, S. 2009. *Estudios preliminares para la determinación de plaguicidas organoclorados en aguas destinadas al consumo humano en el Municipio Rivas Dávila por Cromatografía de Gases con detector de captura electrónica.* Trabajo Especial de Grado. Departamento de Química. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Flores. M., Molina, Y., Balza, A., Benítez, P. y Miranda, L. 2011. Residuos de plaguicidas en aguas para consumo humano en una comunidad agrícola del estado Mérida, Venezuela. *Investigación Clínica.* 52(4): 295-311.
- Gamboa M. 2010 Estado poblacional del orden Plecoptera (Insecta) en el Parque Nacional Sierra Nevada en Venezuela y sus implicaciones para planes de conservación. *Revista Biología Tropical.* 58(4): 1299-1310.
- Gamboa M., M. M. Chacón y Segnini, S. 2009a. Diet composition of the mature larvae of four *Anacroneuria* species (Plecoptera: Perlidae) from the Venezuelan Andes. (pp: 407-415). In: Staniczek A. H. (ed.): *International Perspectives in Mayfly and Stonefly Research. Aquatic insects, Aquatic Insects*, Volume 31, Supplement 1.
- Gamboa M., Chacón M. M. y Segnini, S. 2009b. Ritmo diario de alimentación y tamaño de Presa en cuatro especies simpátricas de Plecoptera (Insecta) en un río tropical andino. *Ecotrópicos* 22(1): 37-43.
- García. M. 2002. El género *Andoneutes* Guéorguiev, 1971 (Coleoptera: Dytiscidae), descripción de doce nuevas

- especies, en Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas.* 36(3): 307-330.
- Gaviria, J. C. 1982. *Plantas acuáticas de los alrededores de la ciudad de Mérida.* Tesis de Grado de la Licenciatura en Biología. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela.
- Ginés, H., Marcuzzi, G. y Martín, F. 1952. Observaciones sobre las condiciones de vida de las truchas en los Andes de Mérida. Cuaderno N° 3. II Congreso de Ciencias Naturales y Afines. Caracas. Venezuela, 22 al 30 de septiembre 1951.
- Goldstein I., Rojas-López J., Pulido N. y Molina, Z. 2012. Sustentabilidad de los paisajes andinos de Venezuela. Emergencias territoriales prioritarias en la conservación del agua. *Revista Geográfica Venezolana.* 53(2): 213-238
- Grimaldo J. 1978. *Estudio del grado de deterioro de la calidad del agua del río Mucuján.* Tesis de Maestría. Centro de Estudios Forestales de Postgrado, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Habit, E., González, J., Ortiz-Sendoval, J., Elgueta, A. y Sobenes, C. 2015. Efectos de la invasión de salmónidos en ríos y lagos de Chile. *Ecosistemas* 24(1): 43-51.
- Hawkins C. P., Kershner J. L., Bisson P. A., Bryant M. D., Decker L. M., Gregory S. V., McCullough D. A., Overton C. K., Reeves G. H., Steedman R. J. y Young, M. K. 1993. A hierarchical approach to classifying stream habitat features. *Fisheries.* 18:3-12.
- Hernández, E. y Pozzobon, E. 2002. Tasas de deforestación en cuatro cuencas montañosas del occidente de Venezuela. *Revista Forestal Venezolana.* 46(1): 35-42.
- Hernández, E. y Valbuena, J. 2001. *Las amenazas naturales, los riesgos y la vulnerabilidad ambiental en el poblamiento en el eje Chama-Mocotíes, Mérida, Venezuela.* (pp: 131-142). Memorias del IV Simposio internacional de desarrollo sustentable en los Andes. Mérida. Venezuela.
- Holzenthal, R. y Cressa, C. 2002. The Trichoptera, Caddisflies, of Venezuela: Three new species. *Studies on Neotropical Fauna and Environment.* 37(2): 133-143.
- INAMEH. 2011. (<http://estaciones.inameh.gob.ve/descargaDatos/vistas/bajarArchivo.php>)
- INE (Instituto Nacional de Estadística). 2014. XIV Censo nacional de población y vivienda: resultados por entidad federal y municipio del Estado Mérida. Gerencia General de Estadísticas Demográficas Gerencia de Censo De Población y Vivienda. Venezuela (<http://www.ine.gov.ve/documentos/Demografia/CensodePoblacionyVivienda/pdf/merida.pdf>)
- Johanson K. A. y Holzenthal, R. 2004. Thirteen new species and new distribution records of *Helycopsyche* (*Feropsycye*) Johanson from Venezuela (Ticóptera: Helycopsychidae). *Zootaxa.* 711: 1-40.
- Lasso, C. A., Lew, D., Taphorn, D.; Donascimiento, C., Lasso-Alcalá O. Provenzano, F. y Machado-Allison, A. 2004. Biodiversidad ictiológica continental de Venezuela. Parte I. Lista de especies y distribución por cuencas. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales.* 159-164: 105-195 pp.
- Maldonado, V. 2002. *Biodiversidad de Plecópteros (Insecta: Perlidae) en Venezuela.* Tesis de Doctorado. Postgrado en Ecología. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela.
- Maldonado, V., Stark, B. P. y Cressa, C. 2002. Descriptions and Records of *Anacroneuria* from Venezuela (Plecoptera: Perlidae). *Aquatic Insects.* 24(3): 219-236.
- MARN. 2005. Impactos en el sector recurso hídrico. En *Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela. Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales,* Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y Fondo Mundial para el Medio Ambiente.
- Martelo, M. T. 2003. *La precipitación en Venezuela y su relación con el sistema climático.* (http://www.inameh.gob.ve/web/PDF/precipitacion_venezuela_relacion_sistema%20climatico.pdf)
- Martelo, M. T. 2004. *Consecuencias Ambientales Generales del Cambio Climático en Venezuela.* (<http://www.inameh.gob.ve/documentos/consecuencias.pdf>)
- Molina Y., Flores M., Balza A., Benítez P. y Miranda, L. 2012. Niveles de plaguicidas en aguas superficiales de una región agrícola del estado Mérida, Venezuela, entre 2008 y 2010. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental.* 28 (4) 289-301.
- Monasterio, M. 1980. Las formaciones vegetales de los páramos de Venezuela. (pp: 93-158). En: Monasterio, M. (Ed). *Estudios Ecológicos en los Páramos Andinos.* Editorial de la Universidad de Los Andes, Mérida.
- Monasterio, M. y Molinillo, M. 2003. Venezuela. El Paisaje y su Diversidad. (pp: 205-236). En: Hofstede, R., Segarra, P., Mena, P. (Eds.). *Los Páramos del Mundo.* Atlas Mundial de los Paramos. Global Peatland Initiative/NC-IUCN/Eco-Ciencia, Quito.
- Monasterio, M. y Reyes, S. 1980. Diversidad ambiental y variación de la vegetación en los páramos de los Andes Venezolanos. (pp: 47-91). En: Monasterio M. (Ed): *Estudios Ecológicos en los Páramos Andinos.* Editorial de la Universidad de Los Andes, Mérida.
- Montilla A. 2007. Algunas consideraciones en torno a la problemática del recurso hídrico en el páramo andino venezolano. *Geoenseñanza.* 12 (2): 199-211.
- Mora, G., Téllez, L., Cala, P. y Guillot, G. 1992. Estudio bioecológico de la ictiofauna del Lago de Tota (Boyacá, Colombia), con énfasis en la trucha arco iris, *Oncorhynchus mykiss.* *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias.* 18 (70): 409-422.
- Morales J. A. 2008. *Caracterización Ecológica de la Comunidad de Trichoptera (Insecta) en la Cuenca Alta del Río Chama, Mérida-Venezuela.* Tesis Maestría. Postgrado de Ecología Tropical. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.
- Morales L. 1986. *Las lagunas Mucubají y Negra su flora macrofítica acuática y algunos aspectos limnológicos.* Tesis de Grado de la Licenciatura en Biología. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela.
- Naranjo M. y Duque, R. 2004. Estimación de la oferta de agua superficial y conflictos de uso de la cuenca alta del río Chama, Mérida, Venezuela. *Interciencia.* 29, 130-137
- Navidad, E. 1988. *Aspectos fenológicos de la ictiofauna en la cuenca baja del río Chama (El Vigía 150 msnm).* Mérida, Venezuela. Universidad de Los Andes.
- Nebiolo E. 1987. Composición y estructura de la Ictio-

- fauna del río Chama, Mérida. Venezuela. II Río Chama medio y alto y Río Mucujún. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales*. 144-167:184 p.
- Otero L. M. y Segnini, S. 2014. Colonization by aquatic macro invertebrates of leaf litter from two pioneer trees in a tropical Andean stream. *Brenesia*. 81-82: 71-83.
- Péfaur, J. y Sierra, N. 1998. Distribución y densidad de la trucha *Oncorhynchus mykiss* (Salmoniformes: Salmonidae) en los Andes venezolanos. *Revista Biología Tropical*. 46(3): 775-782.
- Pelayo, R y Soriano, P. 2010. Diagnóstico ornitológico del estado de conservación de tres cuencas altoandinas venezolanas. *Ecotrópicos*. 23(2): 79-99.
- Peñaloza, M. y Delgado, A. 2015. *Evolución de la temperatura en la ciudad de Mérida (Venezuela) desde 1893 hasta 2008 y su relación con un cambio microclimático parcial antropogénico*. Ponencia en XIV Jornadas de Ambiente y Desarrollo. Mérida 2 al 3 de julio 2015.
- Pereira, N. 1999. Características físico-geográficas del Estado. Capítulo I. (pp: 1-44). En *Plan Estratégico a Largo Plazo. Mérida Estado Competitivo 2020*. Convenio ULA-PDVSA. Grupo Región Estrategia y Desarrollo. Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales. (http://iies.faces.ula.ve/Merida2020/Vision_Compartida/diagnostico/D-Fisico Ambiental/ cap-i-caracteristicasfisico-geografi-cas.pdf)
- Pérez, B. y Segnini, S. 2005. Variación espacial de la composición y diversidad de géneros del orden Ephemeroptera (insecta) en un río tropical altiandino. *Entomotrópica*. 20(1): 49-57.
- Pérez, B. y Segnini, S. 2010. Seasonal variation of mayflies (Insecta Ephemeroptera) in tropical andean headwater stream. *Ecotrópicos*, 23(1):37-49.
- Pozzobon E. y Hernández, E. 2004. *Tasa de deforestación en cuencas hidrográficas del estado Mérida*. IV Congreso Forestal Venezolano. Barinas. Venezuela.
- Pulido N. 2011. El crecimiento urbano en las cuencas de la región Andes de Venezuela y su articulación con el recurso agua. *Revista Geográfica Venezolana*. 52(2): 101-122.
- Ramírez, A. y P. Gutiérrez. 2014. Functional feeding groups of aquatic insect families in Latin America: a critical analysis and review of existing literature. *Revista de Biología Tropical*. 62 (Suppl. 2): 155-167.
- Ramoni, P., Bianchi, G., Araujo, R., Barrera, M. y Molina, M. 2001. Las aves del enclave semiárido de Lagunillas, Cordillera de Mérida, Venezuela. *Acta Biológica Venezolana*. 21:1-10.
- Ramoni, P., Soto, I., Bianchi, G., Jones J., Ruiz, D., Molina M., Muñoz, M. y Correa I. 2014. Noteworthy records for the avifauna of the Cordillera de Mérida, Venezuela. *Cotinga*. 36: 1-10.
- Rangel, Y., Soriano, P., Romero, R. y Aranguren, C. 2009. Hábitos alimentarios del perro de agua pequeño (*Lontra longicaudis*) en la cuenca media del río Chama, Estado Mérida (115 p). En: Giraldo, D., Rojas-Suárez, F. y V. Romero (eds.). *Una Mano a la Naturaleza, Conservando las especies amenazadas venezolanas*. Provita y Shell Venezuela, S.A., Caracas, Venezuela.
- Rengifo C. 2008. *Dieta, reproducción y preferencias de hábitat del Pato de Torrentes (*Merganetta armata colombiana*) en los andes venezolanos*. Tesis Maestría. Postgrado de Ecología Tropical. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.
- Rincón, J. 1995. Evaluación preliminar de la calidad de las aguas del río Mucujún (Edo. Mérida) utilizando los macroinvertebrados bентicos. *Investigaciones Científicas UNE-RMB*. 1(1): 33-46.
- Rincón, J. 2017. Los ríos en la vertiente occidental del Lago de Maracaibo. Capítulo 1. (pp: 15-28). En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.). *Ríos en riesgo de Venezuela. Vol. I. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela*. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Rivas, Z., Márquez R., Troncone, F., Sánchez, J., Colina, M. y Hernández, P. 2005. Contribución de principales ríos tributarios a la contaminación y eutrofización del Lago de Maracaibo. *Cienia*. 13(1): 68-77 pp.
- Rivas, Z., Sánchez, J., Troncone, F., Márquez, R., Ledo de Medina, H., Colina, M. y Gutiérrez, E. 2009. Nitrógeno y Fósforo Totales de los Ríos Tributarios al Sistema Lago de Maracaibo, Venezuela. *Interciencia*. 34(5): 308-314
- Rivera, R. 2004. *Estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en ríos de páramo y selva nublada, en los Andes venezolanos*. Tesis de Grado de la Licenciatura en Biología. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela.
- Rivero, C., Yerena, E., Martínez, Z. y Ángel, H. 2001. *Evaluación del Sistema de Parques Nacionales de Venezuela*. Fundación para la Defensa de la Naturaleza (FUDENA), Instituto Nacional de Parques (INPARQUES). Documento mimeografiado. Caracas.
- Rodríguez, J. P. 2001a. La amenaza de las especies exóticas para la conservación de la biodiversidad suramericana. *Interciencia*. 26(10): 479-483.
- Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. (2015). Libro Rojo de la Fauna Venezolana. Provita y Fundación Empresas Polar. Caracas, Venezuela. (Recuperado de: animalesamenazados.provita.org.ve).
- Rodríguez-Olarte, D., Barrios, M., Marrero, C. y Marcó. L. M. 2017. Río Turbio: un síndrome urbano en la vertiente andina del Orinoco. Capítulo 3. (pp: 59-74). En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.). *Ríos en riesgo de Venezuela. Vol. I. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela*. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Rojas, J., Goldstein, I. y Pulido, N. 2014. Sustentabilidad de los paisajes andinos de Venezuela II: actores y factores movilizadores de la deforestación. *Revista Geográfica Venezolana*. 55(2): 213-237.
- Romero, L. 1995. *El ecosistema selvático del Sur del Lago de Maracaibo y sus sistemas de reemplazo*. Tesis Maestría. Postgrado de Ecología Tropical. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela.
- Romero, R. 2016. *Bioevaluación de los ríos de páramo en la cuenca alta del río Chama, en la Cordillera de Mérida, Venezuela*. Tesis de Maestría. Postgrado de Ecología Tropical. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela.

- Ruza, J. 2008. *El concepto de estado ecológico: Indicadores biológicos utilizados. Proceso de establecimiento de objetivos ambientales: Las condiciones de referencia y el ejercicio de intervalibración europea.* Jornada sobre estado ecológico y gestión del agua nuevas reglas de juego en la gestión del agua. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid.
- Schubert, C. 1992. The glaciers of the Sierra Nevada de Mérida (Venezuela), a photographic comparison of recent deglaciation. *Erdkunde.* 46: 58-64.
- Schubert, C. 1998. Glaciers of Venezuela. En R. S. Williams y J. G. Ferrigno (comps.), Satellite Image Atlas of the Glaciers of the World-South America. *USGS Professional Paper.* 1386-I: 81-108.
- Schultz, L. 1944. The cat fishes of Venezuela, with descriptions of thirty-eight new forms. *Proceedings of the United States National Museum.* 34(3172):173-252.
- Segnini S., Correa I. y Chacon, M. 2009. Evaluación de la Calidad del agua de Ríos en Los Andes venezolanos usando el índice biótico BMWP. (pp: 217-249). En: Arrivillaga J. C., El Souki M. y Herrera B. (Eds.). *Enfoques y Temáticas en Entomología.* 1^a Ed. Sociedad Venezolana de Entomología. XXI Congreso Venezolano de Entomología, Caracas.
- Segnini, S. y Bastardo, H. 1995. Cambios ontogenéticos en la dieta de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en un río andino neotropical. *Biotropica.* 27(4): 495-508.
- Segnini, S. y Chacón, M. 2005. Caracterización físico-química del hábitat interno y ribereño de ríos andinos en la Cordillera de Mérida, Venezuela. *Ecotrópicos.* 18(1): 38-61.
- Segnini, S.; Chacón, M. M. y Domínguez, E. 2003 Efemeropteros. (pp: 326-339). En: *Biodiversidad en Venezuela Tomo I.* Editores M. Aguilera, A. Azocar y E. González J. Fundación Polar. 1a. Ed.
- Sette de Uzcátegui, S. 1995. Ictiofauna con potencial económico en el sur del Lago de Maracaibo. *Veterinaria Tropical.* 20:131-161.
- Sharpe, C. J. y Rojas-Suárez, F. 2015. Pato de torrentes, *Merganetta armata*. En: Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez F. (eds.) Libro Rojo de la Fauna Venezolana. 4a Ed. Provita y Fundación Empresas Polar, Caracas, Venezuela.
- Short, A. y García, M. 2010. A review of the Oooocyclus Sharp of Venezuela with description of twelve new species (Coleoptera: Hydrophilidae: Laccobiini). *Zootaxa.* 2635: 1-31.
- Silva León G. 1999. Análisis hidrográfico e hipsométrico de la cuenca alta y media del río Chama, estado Mérida, Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana.* 40(1): 9-41.
- Smith J. K. y Romero, L. 2012 Factores condicionantes de la dinámica espacial de la agricultura en los Andes venezolanos y sus consecuencias sobre el ecosistema páramo. Informe Final. Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida Venezuela. http://www.condesan.org/ppa/sites/default/files/recursos/archivos/Informe%20final_J%20Smith_L%20Romero.pdf
- Suárez del Moral, P. y Chacón-Moreno, E. 2011. Modelo espacial de distribución del ecotono bosque-páramo en Los Andes venezolanos. Ubicación potencial y escenarios de cambio climático. *Ecotrópicos.* 24(1): 3-25.
- Taphorn, D., Royero, R. Machado-Allison, A., Magoleccia F. y La Marca, E. 1997. Lista actualizada de los peces de agua dulce de Venezuela. (pp: 55-100). En: *Vertebrados actuales y fósiles de Venezuela.* Museo de Ciencia y Tecnología de Mérida, Venezuela.
- Taphorn, D. C. y Lilyestrom, C. G. 1981. *Los peces de importancia económica del área Guanare-Masparro.* Informe Preliminar. CIDAT, Mérida, Venezuela.
- Taphorn, D. C. y Lilyestrom, C. G. 1983. Un nuevo pez del genero *Xiliphius* (Aspredinidae) de Venezuela. *Revista Unellez Ciencia y Tecnología.* 1: 43-44.
- Taphorn, D. C. y Lilyestrom, C. G. 1980. *Piabucina pleurotaenia* Regan, a Synonym of *P. erythrinoides Valenciennes* (Pisces: Lebiasinidae); Its Distribution, Diet and Habitat in Lake Maracaibo Basin, Venezuela. *Copeia.* (2): 335-340.
- Vivas, L. 1992. *Los Andes Venezolanos.* Academia Nacional de la Historia. Caracas-Venezuela.
- Vuille, M. 2013. *El cambio climático y los recursos hídricos en los Andes tropicales.* (IDB Technical Note; 517). Biblioteca Felipe Herrera del Banco Interamericano de Desarrollo.
- Vuilleumier F. y Ewert, D. N. 1978. The distribution of birds in venezuelan paramos. *Bulletin of the American Museum of Natural History.* 162(2): 47-90.
- Zambrano, J. 2011. La formación del espacio en la Zona Sur del Lago de Maracaibo: Una aproximación a su estudio. *Revista Geográfica Venezolana.* 52(1): 121-143.

Anexo: Figura 1: Modificación parcial de la imagen Venezuela relief location map.jpg, de Creative Commons Attribution-ShareAlike License. Alojado en: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Venezuela_relief_location_map_\(%2Bclaimed\).jpg?uselang=es](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Venezuela_relief_location_map_(%2Bclaimed).jpg?uselang=es)

Capítulo 3

Río Turbio: un síndrome urbano en la vertiente andina del Orinoco

Douglas RODRÍGUEZ-OLARTE^{1, 5}, Margenny BARRIOS GÓMEZ^{1, 2, 5},
Críspulo J. MARRERO^{3, 5} y Lué Merú MARCÓ⁴

1. Colección Regional de Peces. Museo de Ciencias Naturales. Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, UCLA. Barquisimeto, estado Lara, Venezuela.
douglasrodriguez@ucla.edu.ve
2. Postgrado de Ecología. Instituto de Investigaciones Científicas de Venezuela IVIC. Caracas.
margennybarrios@ucla.edu.ve
3. Museo de Ciencias Naturales Guanare. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora, UNELLEZ. Guanare, estado Portuguesa, Venezuela.
krispulom@gmail.com
4. Laboratorio de Química. Decanato de Agronomía. UCLA. Barquisimeto, Venezuela.
mparra@ucla.edu.ve
5. Red Iberoamericana para la formulación y aplicación de protocolos de evaluación del estado ecológico, manejo y restauración de ríos (IBEPECOR)

El río Turbio en la vertiente andina del Orinoco soporta intensas perturbaciones que han depauperado sus hábitats y biotas asociadas, siendo prioritario reconocer su estado de conservación para valorar acciones de manejo y restauración. Se presenta una caracterización de la historia natural de la cuenca, donde se evaluaron localidades en el cauce del río Turbio y de sus principales tributarios en cuanto a sus atributos físicos, químicos y biológicos, así como el tipo y extensión de perturbaciones presentes en la cuenca. En el río Turbio y sus tributarios en las terrazas y planicies asociadas con la conurbación Barquisimeto-Cabudare (una de las mayores en la cuenca del río Orinoco) destacaron la deforestación generalizada, incluyendo bosques ribereños, la minería no metálica y la extracción de agua directamente en los cauces, y el ingreso permanente de efluentes urbanos y agroindustriales sin tratamiento previo a los ríos. Diferentes perturbaciones se extienden a todos los cauces -con menor intensidad en las áreas protegidas- y se reconocieron en: la pérdida de bosques ribereños y la erosión de zonas de ribera, la alteración hidrogeomorfológica de los cauces, la colmatación por sedimentos y la intermitencia inducida de la corriente, la contaminación extrema de las aguas en la cuenca media y baja, así como la fragmentación de los hábitats y la pérdida de la riqueza insectos acuáticos y peces. El río Turbio tiene muy baja integridad y reúne los síntomas descritos en el síndrome urbano de los ríos y como mal pronóstico, pues en la cuenca no se evidencia el manejo adecuado de los efluentes urbanos, industriales y agropecuarios, así como la conservación específica de los recursos hidrobiológicos. Es urgente aplicar medidas para reconocer, cuantificar y valorar las perturbaciones naturales y antrópicas sobre los ríos para contrarrestar sus efectos y generar programas de restauración acorde con los ciclos vitales del ecosistema fluvial.

Palabras Clave: integridad de los ríos, recursos hidrobiológicos, síndrome de ríos urbanos, biología de la conservación

1. INTRODUCCIÓN

En el antropoceno los ríos son reconocidos como los ecosistemas con mayor situación de riesgo en el planeta y las principales amenazas sobre los mismos se asocian con la conversión de tierras naturales por usos antrópicos variados (Vörösmarty et al. 2010). Así, la deforestación, principalmente de bosques ribereños, con la consecuente sedimentación de cauces, la contaminación por efluentes y desechos urbanos y agroindustriales no tratados o la derivación del agua para consumo humano, son parte de una larga lista de perturbaciones sobre los ecosistemas fluviales. Estas perturbaciones inciden sobre la integridad y estado de conservación de los ríos, y con más notoriedad donde los ríos son afectados directamente por centros urbanos y periurbanos, generando una serie de impactos que en conjunto se denominan síndrome de ríos urbanos (Meyer et al. 2005). Este síndrome describe la regularidad en la degradación ecológica de los ríos que drenan tierras urbanas, reuniendo respuestas ecológicas y físicas que son usuales a la mayoría de los ríos, siendo principales y permanentes la elevada concentración de nutrientes y sustancias tóxicas, la alteración de la morfología fluvial y la reducción de la diversidad biológica (Booth et al. 2015). En los ríos con este síndrome el régimen de perturbaciones urbanas es determinante, pues este representa el cambio en la frecuencia, magnitud y duración de perturbaciones hidrológicas inducidas sobre los cauces y el ecosistema, lo que implica la degradación geomorfológica y ecológica (Hawley y Vietz, 2016).

La trayectoria de los efectos negativos sobre los ríos es muy similar en todo el planeta, pero la naturaleza y magnitud de las respuestas ecológicas respecto al crecimiento humano difieren espacialmente; además, algunas variables parecen tener una mayor resistencia a la urbanización que otras (Utz et al. 2016). En los países considerados en vías de desarrollo más del 70% de aguas servidas y de desechos industriales se descargan sin tratamiento previo, provocando usualmente la contaminación del suministro de agua para consumo (Fernández y Du Mortier 2005). Lo anterior se expresa en las principales ciudades, donde los ríos corrompidos demuestran el pasivo ambiental que atenta contra la salud humana, los sistemas de producción agropecuaria y la diversidad biológica.

En Venezuela estos eventos son habituales y una buena parte de los efluentes urbanos y agroindustriales de las ciudades y sus áreas de influencia son vertidos directamente a los cauces, independiente a su orientación previa a los sistemas de cloacas. En ríos como el Chama y el Tuy, por ejemplo, los reportes

indican una situación de contaminación preocupante (González-Oropeza et al. 2015, Segnini y Chacón 2017). En la vertiente andina del Orinoco las ciudades más pobladas (San Cristóbal, Barinas, Guanare, Acarigua y Barquisimeto) sostienen alrededor de 3.500.000 personas y drenan sus efluentes directa o indirectamente a los ríos principales o a sus tributarios; esto sin contar el aporte de sedimentos y agroquímicos que provienen principalmente desde las cuencas altas.

El rápido incremento de la población en la conurbación de Barquisimeto, la mayor de la región y que ocupa una enorme superficie dentro de la cuenca del río Turbio, se expresa principalmente por un progresivo aumento de sus efluentes y residuos urbanos. Esto ocurre a la par de una extracción extraordinaria de agua de los cauces, una reducción progresiva de la superficie boscosa, de los hábitats y de la riqueza de especies (García 2012, Barrios y Rodríguez-Olarte 2013, Pérez 2016); además, las aguas del río Turbio y varios tributarios tienen una elevada contaminación y su efecto depaupera los cauces y las biotas a lo largo de todo el hidrosistema, incluyendo los ríos Cojedes y Portuguesa (Espinosa-Blanco y Seijas 2012). Son varios los reportes que demuestran la condición de depauperación del río Turbio y su cuenca, lo que conlleva a una situación de riesgo debido a la fragmentación y contaminación de hábitats y la pérdida de sus faunas (Rodríguez-Olarte y Barrios 2014), por lo que es previsible que este ecosistema reúna los síntomas de un síndrome urbano. Aquí se presenta una valoración de la información sobre el río Turbio y sus principales tributarios de acuerdo a los atributos físicos, químicos y biológicos de su cuenca y cauces, su estado de conservación y las prioridades para el manejo adecuado de sus recursos hidrobiológicos.

2. MÉTODOS

Se evaluaron reportes, bases de datos y registros de colecciones biológicas para describir la cuenca del río Turbio y actualizar información sobre la misma; con este último fin también se visitaron 28 localidades en tributarios de diferentes subcuencas (Figura 1). Para reconocer las dimensiones y los cambios espaciales e históricos en cuencas, zonas de ribera y cauces, así como en las coberturas y los usos de la tierra, se delimitaron transectos, polígonos en imágenes satelitales (Google Earth Pro 2015) y también con un sistema de información geográfica. Se localizaron hitos y evaluaron cauces y coberturas de las zonas de ribera en diferentes momentos; además, los lugares de interés detectados en imágenes satelitales usualmente fueron verificados con observaciones de campo.

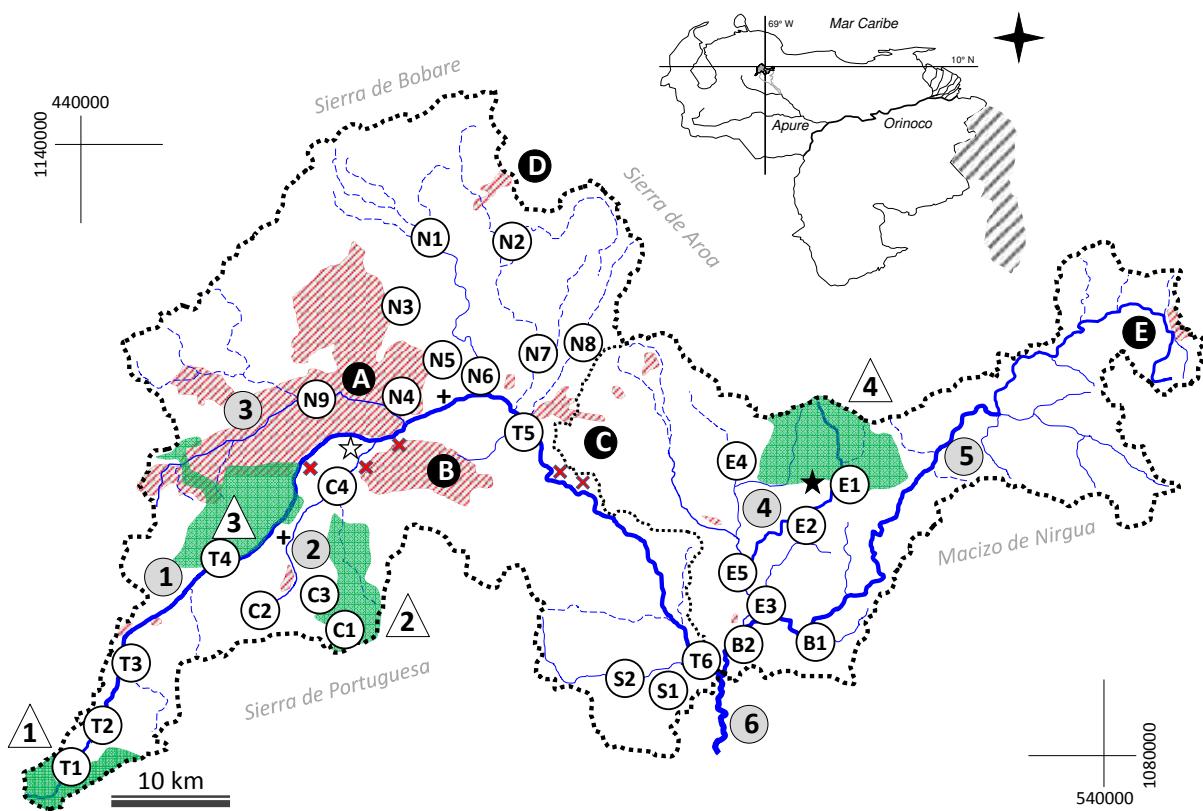


Figura. 1. Cuenca del río Turbio. Los principales cauces (círculos grises) son: (1) Turbio, (2) río Claro, (3) La Ruezga, (4) Nuare, (5) Buría y (6) Cojedes. Las áreas protegidas (polígonos de color sólido denotados por triángulos) son los parques nacionales Yacambú (1) y Terepaima (2) y los monumentos naturales Loma El León (3) y María Lionza (4). Los principales centro urbanos (polígonos con líneas denotados por círculos negros) son Barquisimeto (A), Cabudare (B), Yaritagua (C), Duaca (D) y Nirgua (E). Las localidades (círculos blancos) en la Sierra de Portuguesa son: Cerro Negro (C1), tributario Guayamure (C2), Puente (C3), Agua Viva (C4), Turbio alto (T1), San Miguel (T2), La Esperanza (T3), El Manzano (T4), Puente Tononó (T5), Puente final (T6). En los drenajes al norte son: Las Veras (N1), El Eneal (N2), Las Veritas (N3), La Tomatera (N4), El Cercado (N5), Caseteja (N6), Cambural (N7), Guaremala (N8), La Ruezga (N9). En los drenajes al este y al sur son: El Altar (S1), Pilancones (S2), río Nuare: Charay Alto (E1), Charay medio (E2), Charay bajo (E3), Nuare arriba (E4), Nuare abajo (E5), Buría La Toma (B1) y Buría bajo (B2). Las áreas en donde se efectuaron análisis espaciales y temporales (figuras 2 y 3) son Bosque Macuto (estrella blanca) y cuenca del río Nuare (estrella negra). Las minería industrial no metálica se indica con x.

3. RESULTADOS

3.1. Hidrografía y relieve

La cuenca del río Turbio incluye varias vertientes, siendo el norte de la Sierra de Portuguesa la principal (Figuras 1 y 2), pero también comprende las estribaciones de las sierras de Aroa y Bobare, así como del Macizo de Nirgua. La cuenca se conforma por dos drenajes mayores: Turbio y Buría, que en conjunto abarcan una superficie de 3.405 km², lo que representa cerca del 2% de la superficie de la cuenca receptora del río Apure. A partir de la confluencia de los ríos Turbio y Buría, el cauce principal se denomina Cojedes, se incorpora el río Tucuragua y posteriormente desemboca en el río Portuguesa, en la cuenca del Orinoco. La depresión del Turbio-Yaracuy incluye

los valles del Turbio y de las Damas, este último corresponde al tramo final del río Turbio y comprende una zona de transición geológica donde confluyen las estribaciones de la Sierra de Portuguesa (oeste), el Macizo de Nirgua (este) y la Sierra de Aroa (norte). En medio de estos grandes relieves se extiende la planicie de la depresión de Barquisimeto, que es atravesada por la falla de Boconó y sedimentada por extensos abanicos aluviales. Aquí se ha dividido la cuenca en tres grandes drenajes:

a. Drenaje andino (Sierra de Portuguesa): Desde las mayores alturas de la cuenca provienen el río Turbio (2.165 msnm; 280 km²) y el río Claro (1.737 msnm; 164 km²); estos atraviesan valles encajonados

y confluyen en la planicie aluvial del Valle del Turbio, en la depresión de Barquisimeto (Figuras 1 y 2). La quebrada La Ruezga tiene algunas cabeceras en los ramales andinos; ésta drena toda la terraza aluvial de Barquisimeto y desemboca en el río Turbio entre los valles del Turbio y de Las Damas.

b. Drenaje al norte (Sierras de Aroa y Bobare): Por el norte los drenajes provienen de las sierras de Aroa (1.370 msnm) y Bobare (1.045 msnm) y son de carácter intermitente o eventual. Estas son bordeadas por colinas residuales y disectadas. La quebrada La Ruezga (1.365 msnm; 678 km² de superficie; 48 km de cauce, (Figura 2) comparte al sur los flancos áridos de la Sierra de Portuguesa y desde el norte y noroeste de la Fila del Viento, donde también tienen su origen las quebradas El Mamón y Yoitoy. En esas cabeceras están los límites orientales del Parque Nacional Saroche (32.294 ha). La Ruezga era un cauce usualmente seco pero se nutre por descargas industriales y urbanas que mantienen su caudal activo durante todo el año. Otros drenajes son la quebrada Tacarigua al norte, y al noreste las quebradas contiguas de Nonavina (1.371 msnm; 212 km²) y Guaremal (1.370 msnm; 72,5 km²), estas últimas desembocan al Turbio en el Valle de Las Damas. En la quebrada Guaremal se construyó un embalse (presa Germán Rovati. 37 ha. 1973) pero actualmente está inutilizado por una colmatación masiva de sedimentos.

c. Drenaje oriental (Macizo de Nirgua) y al sur: Al este (Macizo de Nirgua) y al sur los drenajes discurren en dirección este-oeste y desembocan en las planicies al sur (Figura 2). Estos ríos son usualmente de corrientes permanentes que fluyen por orografías bajas conformando los ríos Nuare (Cerro de Sorte; 1.208 msnm) y Buría (Cerro El Picacho, 1.362 msnm). Los lomeríos occidentales al suroeste son drenados principalmente por la quebrada Pilancones. Un poco más abajo de la confluencia de los ríos Turbio y Nirgua desemboca el río Tucuragua. Esta última cuenca (719 km²) es prácticamente cubierta por el parque nacional Tírgua.

3.2. Clima y vegetación

En la cuenca se reconoce una transición en cuanto al clima, pues en la misma convergen la zona semiárida y subhúmeda regional, ambas expuestas a los vientos alisios que provienen del abra de Yaracuy y de los llanos occidentales del Orinoco. En las montañas de río Claro el régimen de precipitación es unimodal (promedio anual: 1.200 mm) y se concentra desde abril a noviembre, pero en la cuenca alta del río Turbio el mismo es bimodal (964 mm) con máximos valores

de precipitación en abril-junio y octubre (López & Andressen 1996). Los ecosistemas terrestres son bastante intervenidos y se expresan con bosques húmedos por encima de los 1.000 msnm y con bosques ralos y matorrales xerófilos en las tierras bajas del norte. Al sur y al este predominan los bosques secos deciduos. En la terraza aluvial de Barquisimeto la precipitación anual promedio es de 514 mm, con las lluvias concentradas entre abril y noviembre, mientras que al norte, en la población de Duaca, los valores son algo superiores. Las zonas de vida predominantes en las áreas bajas son bosque seco y muy seco tropical, pero en las montañas se detecta el bosque húmedo premontano. Entre el noreste y noroeste el gradiente en el clima y la vegetación es notorio: al este se registran mayores valores de precipitación y cobertura vegetal, incluso con bosques altos; lo contrario se presenta al oeste. En las montañas al noreste (Nirgua) la temperatura y precipitación promedio anuales son de 22 °C y alrededor de los 1.050 mm, respectivamente. En las áreas bajas la zona de vida predominante es bosque seco tropical, pero en las cumbres es bosque húmedo tropical. Esta vertiente tiene mayor cobertura boscosa.

3.3. Historia, demografía y centros urbanos

En 1552 se fundó Nueva Segovia (de Buría) muy cerca de la confluencia entre los ríos Buría y Turbio (~250 msnm), pero la ciudad sería mudada varias veces y su último asiento fue sobre la terraza que hoy ocupa (566 msnm), donde se conoce como Nueva Segovia de Barquisimeto. Para el año de 1779 en la ciudad se registraron un poco menos de 4.000 personas y en 2011 la conurbación conformada por las ciudades de Barquisimeto, Cabudare y poblaciones satélites (área metropolitana Gran Barquisimeto) concentró cerca de 1,4 millones de personas (Instituto Nacional de Estadística 2014a, b). El resto de las áreas urbanas en la cuenca se reparte principalmente entre las urbes de Nirgua y Duaca en las tierras elevadas, así como decenas de pueblos pequeños y caseríos en las planicies. La conurbación tiene un área aproximada de 31.000 ha, pero el 90% de la misma es ocupado por las ciudades de Barquisimeto y Cabudare, más los pueblos inmediatos (Cují, Tamaca) en constante expansión (Figuras 1 y 2). En el valle del Turbio la concentración humana genera importantes efluentes residuales (aguas negras, vertidos industriales y agropecuarios) que usualmente no son tratados antes de ser vertidos a los cauces.

3.4. Coberturas y usos de la tierra

En la Sierra de Portuguesa el uso de la tierra es fundamentalmente agrícola, predominando los culti-



Figura. 2. (a) El río Turbio con aguas transparentes antes de ingresar a las planicies urbanizadas. (b) Afluente de la quebrada Chirgua luego de drenar una pequeña área al noreste de Barquisimeto. (c) Quebrada Guaremal (Sierra de Aroa) con su cauce colmado de sedimentos antes de desembocar en el embalse con igual condición. (d) El río Buría en las planicies (Macizo de Nirgua). (e) El río Turbio en su tramo final antes de la confluencia con el río Buría, nótense el color muy oscuro de sus aguas y el profuso bosque ribereño. Fotografías de D. Rodríguez-Olarte.

vos de café y hortalizas en las montañas, mientras que en las planicies son usuales el maíz y la caña de azúcar, la cría de cabras es común en las zonas áridas. En las cumbres se asientan los parques nacionales Terepaima (18.971 ha) y Yacambú (26.916 ha) y en las áreas bajas se ubica el Monumento Natural Loma El León (7.275 ha). Fuera de estas áreas protegidas la deforestación y la agricultura son extendidas (Rodríguez-Olarte & Barrios 2014). Los acuíferos del Valle del Turbio proveen de un volumen importante de agua para el consumo humano en la conurbación. En los drenajes al norte destacan las tierras dedicadas a la actividad agropecuaria, donde predominan los cultivos de hortalizas y piña, así como la cría aviar y caprina, mientras que en las planicies al este sobresale la cría de ganado vacuno y aves de corral, pero también cultivos variados; mientras que en las tierras altas (Nirgua) los cultivos de naranjas son comunes.

La vertiente sur del Monumento Natural Cerro María Lionza (11.712 ha) se incluye dentro de la cuenca (ríos Nuare y Charal). En todos los ríos de la cuenca existe una extracción intensa del agua, ya sea desviando directamente los cauces o por el uso de motobombas. Además, en la cuenca se han propuesto (y aún no construidos) algunos aprovechamientos hidráulicos, principalmente represas, ya sea en las vertientes andinas (río Turbio), al norte (Tacarigua, Nonavina) o al este (Nuare); igualmente, ya en el río Cojedes y aguas abajo del río Tucuragua, se inició en 1975 la construcción del embalse Las Palmas mediante una presa de tamaño considerable; sin embargo, el proyecto ha sido paralizado (Abarca 1991).

La valoración de información satelital y las visitas de campo indicaron que los bosques ribereños de tierras medias y bajas en la cuenca de río Claro han sido deforestados en gran medida, pero persisten en las laderas de alta montaña y las cabeceras (Cerro Negro, Guayamure), donde se asocian con cinturones continuos de bosques (Parque Nacional Terepaima). Sin embargo, la deforestación existe dentro del área protegida, principalmente en sus límites y expresada por la agricultura itinerante, donde también ocurren los incendios de vegetación y existen vías de comunicación (García 2012). Una situación muy similar se evidencia en la cuenca alta del río Turbio, donde la actividad agrícola es mucho más extensa e intensa y la expansión de su frontera se asocia con la deforestación dentro del Parque Nacional Yacambú. Entre los años 2000 y 2008 los bosques dentro del Parque Nacional Terepaima tuvieron una reducción alrededor del 1% de su superficie y una tendencia similar pero mayor se reconoció en los matorrales, pasando de 113,5 a 84,1 ha (García 2012). Estas pérdidas de hábitat a costa de la expansión de la frontera agrícola

también se registraron en el Parque Nacional Yacambú y con mayor medida en el Monumento Natural Loma El León, donde se sumó la expansión urbana.

En los tramos finales (planicies) de los ríos Claro y Turbio la deforestación de las riberas es generalizada, pero en menor que en el Monumento Natural Loma El León y el sector de Bosque Macuto; este último es un parche de bosque donde predomina la palmera chaguaramo (*Roxystonea*) y donde funcionaron un balneario y un acueducto local, ahora en desuso. Estos bosques de palmas (chagaramales o maporales) comúnmente se asocian con cauces regionales (Colonnello et al. 2014), pero en la cuenca del río Turbio son ahora muy escasos y de pequeño tamaño. En el Bosque Macuto se reconoció un área remanente con bosques que para 2003 cubría una superficie de 69 ha. En 2015 esta superficie se redujo a 54 ha (22%), indicando que las mayores pérdidas de vegetación ocurrieron en su límite ribereño (Figura 3). En el mismo sector, y durante el mismo intervalo, el río Turbio tuvo una modificación importante en la morfología de su cauce, demostrando cambios en su magnitud y rumbo. En los drenajes al extremo norte de la cuenca persisten algunos parches de bosques en una matriz agropecuaria que crece rápidamente.

Otras áreas boscosas poco intervenidas se detectan al noreste de la cuenca (vertiente de la Sierra de Aroa). En el resto de esos drenajes la deforestación es generalizada, con pequeños parches de bosques asociados a quebradas en predios privados; además, extensos cordones urbanos y nuevas áreas de vivienda han reducido la cobertura vegetal y generan grandes volúmenes de efluentes urbanos que son orientados a la quebrada Nonavina. La cuenca del río Buría, incluyendo su tributario Nuare, tiene la mayor cobertura de bosques locales principalmente en la cuenca media. Los recorridos por los drenajes al sur, así como la revisión de imágenes satelitales actualizadas, indican que estas son las áreas bajas con mayor cobertura de bosques.

Para la cuenca alta del río Nuare, en la vertiente sur del monumento natural Cerro María Lionza, Pérez (2016) detectó un incremento inusitado de la intervención humana en los años 1995, 2005 y 2015, donde se corroboró una disminución de la cobertura de bosques a costa de la expansión de las fronteras agrícola y urbana (Figura 4). Dentro de esta área protegida la cobertura de bosques tuvo 16.490 ha en 1995; no obstante, en 2015 disminuyó a 15.197 ha. En el mismo periodo las coberturas de herbazal, matorral y el uso agropecuario de las tierras se duplicaron, llegando alrededor de las 800 ha cada una. El uso urbano se sextuplicó en el mismo periodo (336 ha). Cabe destacar que estas pérdidas en el área protegida

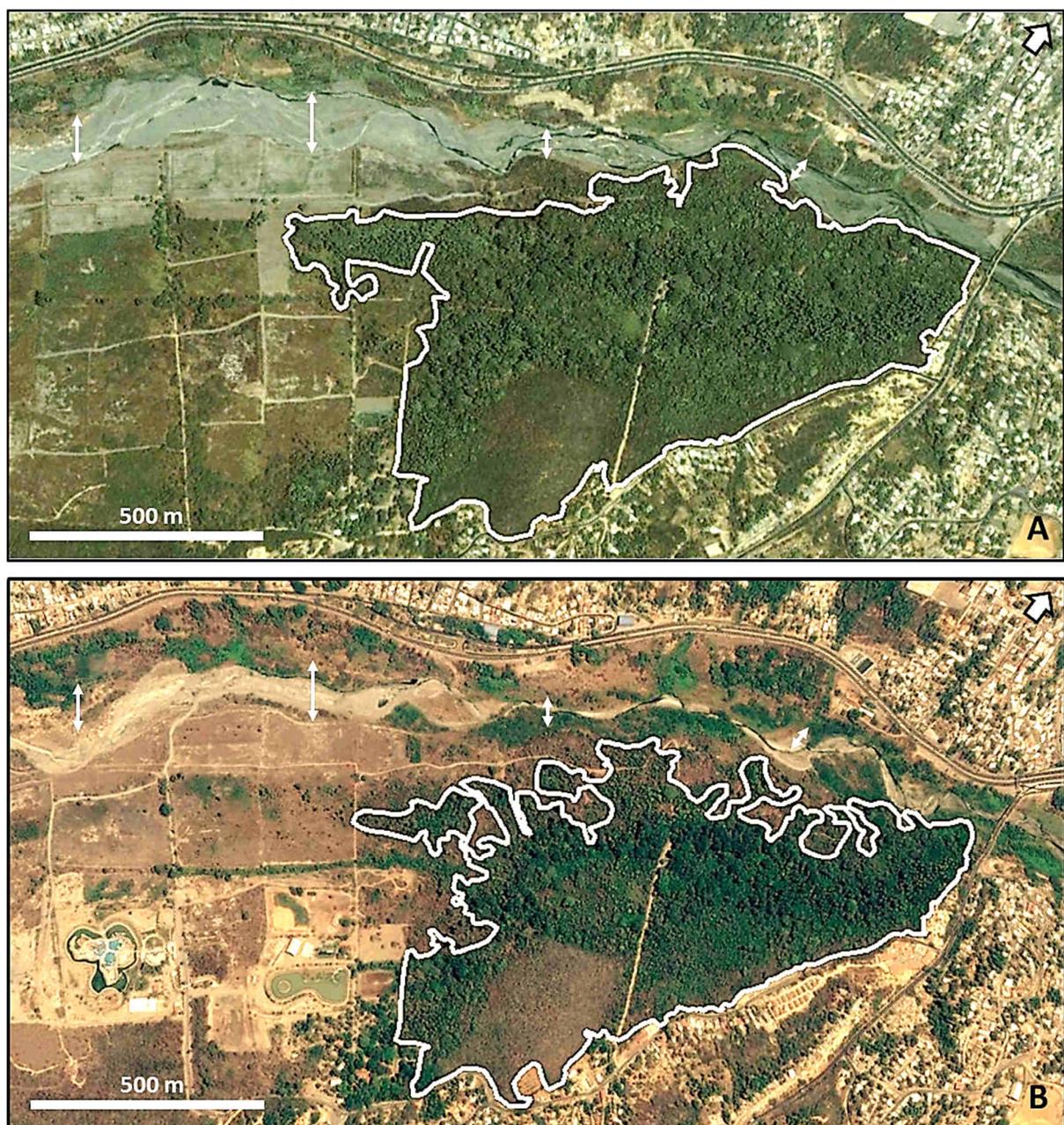


Figura. 3. Cambios en las coberturas de la tierra en las planicies del río Turbio en los años 2003 (A) y 2015 (B). El polígono denota la cobertura de bosque alto en el área protegida de Bosque Macuto (su ubicación en la cuenca se indica en la Figura 1) y en el mismo destaca un área ya deforestada previamente. Las flechas verticales indican cambios en el cauce del río Turbio, que es muy colmatado, intermitente durante el periodo de sequía y nutrido por aguas residuales que provienen desde la ciudad de Barquisimeto, en la terraza inmediata al norte. Al sur existe un parque acuático de construcción reciente y que simula la forma de Venezuela. El río corre al este.

se concentraron principalmente en la vertiente sur, en la cuenca del río Nuare. Según Pérez (2016) esta pérdida de cobertura vegetal, que incluye también a los bosques ribereños, puede tener un efecto directo sobre el comportamiento de los ríos (pérdida de hábitats y zonas de riberas, acumulación de sedimentos), la diversidad de la ictiofauna y, en consecuencia,

sobre la conservación de los recursos hidrobiológicos fluviales regionales, mermando su oferta como servicios ecosistémicos. A esto se suman los efluentes de los caseríos y de las unidades de producción agropecuaria que son vertidos directamente a los cuerpos de agua, reduciendo con esto la oferta de servicios ecosistémicos.

3.5. Cauces, zonas de ribera y conservación del hábitat fluvial

En los ríos de montaña y tierras elevadas se reconocieron cauces conservados y corrientes cristalinas, con granulometrías gruesas y taludes protegidos por bosques ribereños. Esto fue perceptible principalmente en las cabeceras de los ríos Turbio y Claro, pero desde las montañas los cauces muestran transformaciones (Rodríguez-Olarte y Barrios 2014). La evaluación de imágenes satelitales (2015) indicó que alrededor de los 1.000 msnm el cauce del río Turbio inicia su transformación y luego de los pueblos de San Miguel y Buena Vista el cauce tiene un cambio radical, siendo muy amplio gracias al ingreso de dos tributarios (~820 msnm) con una elevada carga de sedimentos. A partir de ahí el cauce tiene usualmente más de 100 metros de ancho, siendo trenzado y colmatado por sedimentos de granulometrías variadas. Esta condición disminuyó notablemente alrededor de los 380 msnm, unos siete kilómetros aguas debajo de Barquisimeto, donde el cauce es único, reducido, sin acumulaciones importantes de sedimentos y con vegetación ribereña. En el tramo con mayor intervención del río se observó una variación importante del cauce durante el tiempo (Figura 3).

La minería no metálica (arena y gravas) fue registrada en casi en todos los cauces. La exploración de imágenes satelitales y las visitas de campo indicaron la presencia de empresas mineras (areneras) contiguas al cauce de Río Claro, además de una franja de extracción artesanal de arena y grava cuando este río ingresa a la planicie. El río Turbio tiene minería artesanal en las montañas, usualmente asociada con los centros urbanos, mientras que en la planicie se identificaron varias areneras (minas industriales), todas cercanas a la ciudad de Barquisimeto (Figura 1). En el valle de Las Damas existen minas activas (cal, cemento) y algunas son aledañas al río. La minería artesanal de arena y grava es una actividad común en los ríos de piedemontes en Venezuela (Machado-Allison 2017).

Al norte de la cuenca casi todos los cauces fueron intervenidos, lo que sería una respuesta a las perturbaciones humanas asociadas con una menor cobertura de vegetación debido a las condiciones climáticas. La quebrada La Ruezga está canalizada en casi todo su recorrido a lo largo de la ciudad. El tributario Guaremal y otros de la misma vertiente al norte presentaron cauces con taludes muy erosionados, secos y con gran aporte de sedimentos. En los piedemontes y planicies de los ríos que provienen de áreas protegidas o zonas boscosas al este de la cuenca se han registrado cauces con caudales permanentes y granulometrías variadas. Ahí destacan los ríos y quebradas Nuare, Charal, Buría, Pilancones.

Ya desde el pueblo de Yaritagua el río Turbio presentó meandros desarrollados y franjas de bosques ribereños secundarios en gran parte de su recorrido. Durante el periodo de sequía el río Turbio se fragmenta al ingresar a las planicies y el caudal es suplido principalmente por efluentes urbanos. Así, estas aguas residuales vienen a conformar el principal aporte al cauce en las planicies, que es nutrido principalmente por la quebrada Guardagallo (La Ruezga), la cual atraviesa la ciudad de Barquisimeto.

Durante el periodo de sequía el río Claro se seca aguas abajo del pueblo homónimo pero vuelve a presentar una corriente intermitente a su ingreso a las planicies. La pérdida y fragmentación de los ríos en piedemontes y planicies promueve una mayor erosión de las laderas y la consecuente colmatación y trenzado de los cauces locales. Estos cauces tienen dimensiones descomunales debido a la acumulación masiva de material con granulometría variada. Las inspecciones de campo y los registros históricos indicaron que todos los ríos en la cuenca tienen una intervención elevada, salvo en las cabeceras y áreas protegidas. Tal intervención se expresó con la contaminación de las aguas, la pérdida de la cobertura vegetal en las riberas, la erosión y la colmatación de cauces.

3.6. Las corrientes y las aguas

El escurrimiento en la cuenca es aportado principalmente por los drenajes al este y los de origen andino. Hará un poco menos de 50 años el río Turbio tenía un caudal promedio de 1,17 m³/s en las planicies (500 msnm), antes de su confluencia con Río Claro; este último tendría un volumen menor (0,44 m³/s) (COPLANARH 1969). Igualmente, el Turbio en su tramo final (250 msnm) aportaría un caudal de 6,37 m³/s antes de la incorporación del río Buría (7,26 m³/s). En el periodo de sequía de 2015, el tramo final del río Buría tuvo un caudal de 0,86 m³/s, mientras que al norte de la cuenca sólo dos localidades tuvieron pequeñas corrientes de agua (<0,05 m³/s) y únicamente en las nacientes o en algunos tramos protegidos por bosques ribereños.

Al sur, las quebradas Pilancones y El Altar tuvieron bajos caudales (~0,1 m³/s) en el periodo de sequía y ambas se desecaron parcialmente. En las montañas del río Claro y el río Turbio, así como en el resto de localidades en cabeceras, las aguas tuvieron una transparencia total durante el periodo de sequía, mientras que el río Turbio en las planicies tuvo una transparencia menor a 10 cm (disco Secchi), condición que se extendió en todo su cauce hasta el río Cojedes. En el río Buría y sus tributarios presentaron aguas con transparencia elevada. En general, las concentraciones de diferentes variables (ej. fracciones

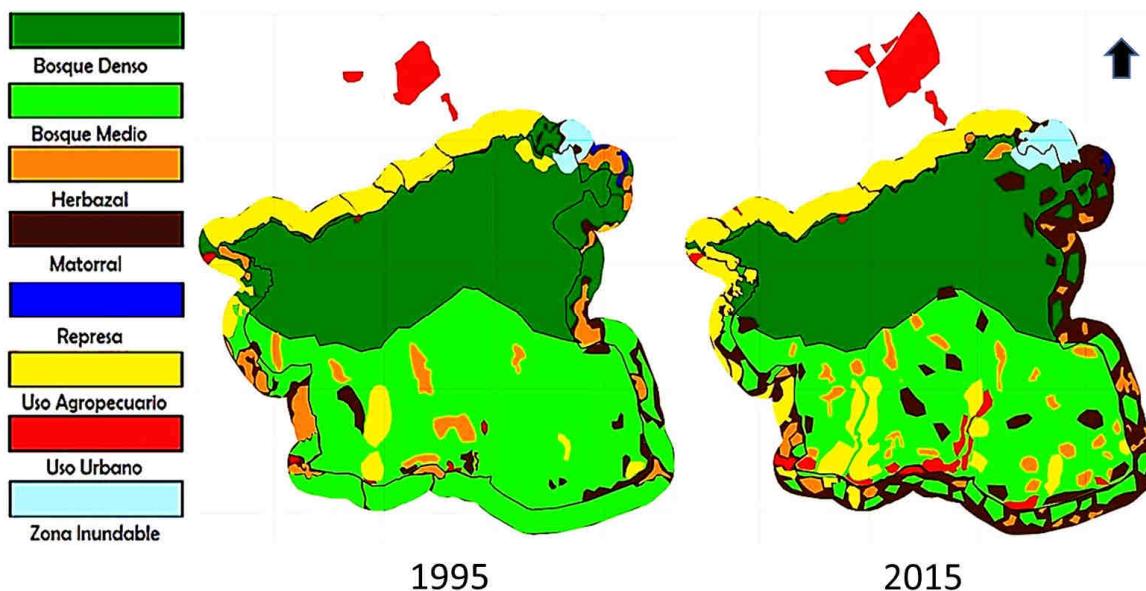


Figura 4. Comparación de las coberturas y usos de la tierra para los años 1995 y 2015 en el Monumento Natural María Lionza, cuya frontera sur (parte inferior del polígono: bosque medio) se encuentra dentro de la cuenca del río Turbio. El polígono corresponde al monumento natural Cerro María Lionza (su ubicación se muestra en la Figura 1), más una franja de influencia (amortiguación) en contacto con sus límites. Al norte se encuentra la ciudad de Chivacoa (polígono rojo). Las perturbaciones se concentran en la vertiente sur del área protegida, con los usos predominantes de la tierra. Modificado de Pérez (2016).

inorgánicas, sólidos totales) reportadas demuestran un incremento cuando el río Turbio se asocia con la conurbación, lo cual evidencia un cambio drástico en la condición natural del cuerpo de agua, además de su deterioro progresivo (Chirinos, 2010, Adan 2010, Adan et al. 2014). Así, en las montañas el río está controlado por factores naturales y la contaminación es muy baja (Urdaneta 1989), mientras que en las planicies (valles del Turbio y de Las Damas) hay concentraciones elevadas de calcio, sodio y sulfatos. Ya en el tramo final del río Turbio las concentraciones de plomo, zinc, cromo y materia orgánica fueron elevadas. Además, se ha observado entradas no controladas de los elementos plomo, zinc y cromo de origen distinto del natural, que se atribuyó a las actividades industriales que se llevan a cabo en la zona (Chirinos, 2010). Además, hubo cambios en la concentración de diferentes elementos y sólidos disueltos entre períodos de sequía y lluvias (Tabla 1), lo que ha sido atribuido a un efecto de dilución causado por el incremento en el escurreimiento debido al agua de lluvia.

En el tramo del río Turbio comprendido entre la ciudad de Yaritagua y la desembocadura del río Burúa (donde el río se denomina Cojedes) se ha reconocido cierto grado de recuperación en las aguas (Andara 1987), expresado por la disminución de la conduc-

tividad (de 1.250 a 850 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y el aumento de la concentración de oxígeno disuelto (de 0,5 a 5,8 ppm). Además, la concentración de elementos (Na, K, Ca, SO_4^{2-} , Mg, Cl⁻, entre otros) en las aguas disminuyó en un intervalo (de 23 a 2 veces) con relación a la línea base natural entre el primer y último punto de muestreo. Esto ha sugerido que los mecanismos de purificación existentes en el río son la dilución por afluentes limpios y el agua de lluvia, la oxigenación por turbulencia y la acumulación de elementos en los sólidos suspendidos y sedimentos (Chirinos, 2010). En un gradiente espacial y de altitud -entre las montañas y el valle- son notables los cambios en las aguas del río Turbio. Chirinos (2010) notó que los sólidos totales disueltos reflejaron un comportamiento creciente a lo largo del cauce, con un valor mínimo de 321 mg/l en las montañas (Buena Vista) y un máximo de 718 mg/l en el Valle del Turbio; no obstante, son valores menores al valor máximo establecido (1.500 mg/l) en el Decreto 883 (Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 1995).

En el río Claro la concentración de sólidos totales disueltos fue mucho menor, lo que sería asociado con una menor prevalencia de perturbaciones humanas. Por otro lado, los valores de pH fueron similares en el río Turbio desde las montañas hasta las planicies, donde alcanzó un valor máximo de 7,49. Con respecto

a la dureza total, el valor máximo permisible del Decreto 883 (500 mg/l de CaCO₃) sólo fue superado en las planicies, con un valor de 600 mg/l de CaCO₃, aun cuando usualmente las aguas del río Turbio poseen las concentraciones de dureza relativamente altas, cerca del límite permisible, con excepción del valor registrado en la cuenca alta de río Claro (296 mg/l CaCO₃). El fósforo tuvo valores por debajo del límite de detección (0,1 mg/l) en las montañas, pero en las planicies los valores estuvieron alrededor de los 6,7 mg/l. Estos valores se atribuyen a los contenidos elevados de detergentes y heces en las aguas residuales de origen doméstico e industrial. Una tendencia similar ocurrió con el nitrógeno amoniacal, con mayores valores en el Valle del Turbio (0,76 mg/l).

En general, las concentraciones de las diferentes variables reportadas para el río Turbio demuestran un incremento abrupto en las planicies, lo cual evidencia un cambio drástico en la condición natural del cuerpo de agua, además de un deterioro progresivo de tipo físico y químico. Además, algunos parámetros presentaron variaciones relacionadas con la exposición a fuentes difusas y sus niveles aumentaron a medida que el cuerpo de agua atraviesa la ciudad de Barquisimeto (Chirinos 2010, Adan et al. 2014).

Además de las variaciones puntuales entre las montañas y el Valle del Turbio, el aumento de los

niveles de los elementos evaluados también ocurrió entre períodos climáticos; así, los metales disminuyeron sus concentraciones en el tiempo, mientras que la turbidez en todos los casos sobrepasó los valores máximos permisibles. Sin embargo, la mayoría de los parámetros se encontraron dentro de los límites permisibles. Entre las variables que incrementaron progresivamente sus valores entre las montañas y las planicies de la conurbación destacaron: conductividad, turbidez, sólidos disueltos totales, cloruros, dióxido de carbono, temperatura, nitrógeno amoniacal, nitratos + nitritos (como nitrógeno) y los metales cobre, hierro y manganeso. En la conurbación predomina una mezcla de aguas cloacales con las aguas de la red de drenaje urbano, ya sea por sistemas de conducción inadecuados o por su deterioro. Esta mezcla se ha estado vertiendo en los cauces por décadas, lo que debe tener un efecto legado en los ecosistemas fluviales, principalmente por la pérdida de los hábitats acuáticos y ribereños, y que es difícil de evaluar sencillamente porque las especies indicadoras de los cambios históricos previsiblemente ya no habitan el río. En las ciudades de Barquisimeto y Cabudare las superficies urbanizadas son muy extensas, lo que favorece la escorrentía superficial (disminuyendo así la infiltración) e incluyendo además importantes volúmenes de material sólido, principal-

Tabla 1. Valores promedio de parámetros fisicoquímicos del agua en diferentes sectores del río Turbio entre los períodos de sequía (Chirinos 2010) y lluvia (Adan 2010). LP: límites permisibles según Normativa Decreto 883 y OMS, NR: no reglamentado, NM: no medido, LD: límite de detección (modificado de Adan et al. 2014).

Parámetros	Buena Vista (880 msnm)		Puente Las Damas (467 msnm)		Veragacha (415 msnm)		LP
	Sequía	Lluvias	Sequía	Lluvias	Sequía	Lluvias	
Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	86	57,8	214	63,8	164	133,3	NR
CO ₂ (mg/l)	21,7	43,8	110	20	60	65	NR
Conductividad (μS/cm)	682	492,5	1480	646,7	1.246	1.013,3	NR
Cloruros (mg/l)	15	60	95	60	102,5	210	600
Dureza cálcica (mg/l CaCO ₃)	357,3	260	421	300,4	197,3	334,7	NR
Dureza total (mg/l CaCO ₃)	410,7	282,7	600	340	414,7	464	500
Fósforo (mg/l)	<LD	0,58	2,78	0,3	6,4	4,9	NR
N amoniacal (mg/l)	0,06	0,74	0,08	1,1	0,13	7,2	NR
Nitritos (mg/l)	0,03	0,03	0,04	0,1	0,5	0,1	NR
Nitritos + Nitratos (mg/l)	0,64	1,46	0,64	4,4	0,7	0,06	10
pH	7,3	7,0	7,5	7,8	6,9	6,1	6-8,5
Temperatura (°C)	24	23	37	27	27	NM	-
Turbidez (UNT)	NM	576,2	NM	1497,7	NM	492,3	<25
Sólidos totales disueltos (mg/l)	341,7	262,5	740	326,7	623,3	496,7	1500

mente sedimentos, pero también escombros y basura. De un poco más de 70 empresas registradas en la ciudad de Barquisimeto el 90% descargaban aguas servidas directamente a la red cloacal y 9,7% al río Turbio y a los tramos urbanos de las quebradas de La Ruezga y El Mamón; además, el agua del Turbio y sus tributarios dentro de la conurbación presentaban valores de coliformes totales superiores a la norma, indicando que esas aguas representaban un riesgo ambiental para los ecosistemas y la población, además de afectar los acuíferos por efectos de la percolación (República Bolivariana de Venezuela 2010). Esta situación contraviene la normativa legal (Riestra 2017) y resulta en pasivos ambientales por resolver. Es importante indicar que el decreto 883 es una norma desactualizada aplicada para aguas de consumo, recreación o para actividades agroindustriales y es inadecuada para inferir sobre la calidad del agua para mantener la biota acuática o la integridad del ecosistema acuático; además, en este decreto los valores de referencia son únicos y generalizados, sin relación con las geologías e hidroquímica de las aguas en cada región o dentro de una cuenca. Así, para inferir sobre el enriquecimiento por nutrientes o contaminación en los ríos, por ejemplo, es recomendable disponer de valores de línea base; esto es, aquellos medidos en localidades con el mejor estado de conservación posible. En la cuenca del río Turbio tales valores son difíciles de encontrar, dada la notable intervención en la misma.

3.7. Diversidad biológica acuática

a. Insectos acuáticos: En el río Turbio y sus tributarios (río Claro, Guaremal, Nuare, Charal y El Altar), son registrados 16 órdenes y 47 familias de insectos acuáticos (Barrios y Rodríguez-Olarte 2013). Estos son representados por Diptera (once familias) seguido de Trichoptera (10), Ephemeroptera (5), Coleoptera (4) y Hemíptera (4). Otros órdenes son menos representativos pues tienen solo una familia, como los Megaloptera, Plecoptera, Lepidoptera y Orthoptera. Las familias con mayor abundancia fueron representadas por Chironomidae (36,1% de abundancia relativa), seguido de Baetidae (27,3%), Simuliidae (14,1%) e Hydropsychidae (8,1%).

En los ríos Claro, Nuare y Charal se presentó una mayor riqueza y diversidad de familias de insectos acuáticos, lo que fue correlacionado positivamente con un mayor estado de conservación del hábitat acuático y ribereño. Además, esta condición permite la presencia de algunas familias que suelen ser más sensibles a las perturbaciones; por ejemplo, dentro del orden Ephemeroptera las familias Leptophlebiidae, Caenidae y Euthyplociidae han sido registradas sólo en zonas con aguas limpias con corrientes intermedias

y habitan sustratos de granulometría gruesa, como las piedras y rocas. Similarmente, las familias Odontocecididae, Helicopsychidae, Hydrobiosidae, y Calomoecratidae fueron registradas en los ríos Claro, Nuare y Charal, y su presencia fue indicadora de condiciones de aguas menos contaminadas y hábitats con sustratos más heterogéneos (Barrios y Rodríguez-Olarte 2013). Los Odonatos suelen tener poca representatividad en la riqueza y abundancia por familia (< 0,05% de la abundancia relativa), siendo registradas las familias Coenagrionidae, Gomphidae, Libellulidae y Polythoridae que están asociadas a condiciones de hábitats más conservados. Su poca abundancia suele estar relacionada principalmente a su alta sensibilidad frente a cambios de temperatura y a la disponibilidad de alimento, ya que sus náyades o estados inmaduros se alimentan de otros invertebrados, incluyendo otros odonatos e incluso renacuajos y hasta pequeños peces (von Ellenrieder y Garrison 2009).

El orden Plecoptera está representado por una familia (Perlidae), donde sus estados inmaduros son de hábito acuático y sus ninfas suelen estar asociadas a sitios con piedras, rocas y troncos de árboles, así como también a corrientes intermedias o rápidas y aguas más limpias, y en sus estados de adulto, suelen estar presentes en los bosques ribereños (Froehlich 2009). Estos requerimientos de hábitat están presentes en las localidades más elevadas y conservadas de estos ríos; en estos se han registrado cuatro familias para el orden Hemiptera, de las cuales Naucoridae, Belostomatidae y Hebridae solo han sido reportadas para río Claro. Estas familias ocupan una gran variedad de hábitats desde los fondos rocosos en el río, la superficie del agua y entre la vegetación acuática y semiacuática; además tienen hábitos depredadores: se alimentan de otros insectos, renacuajos y peces (Mazzucconi et al. 2009). Lepidoptera solo se reportó con una sola familia (Crambidae) presente en río Claro y sus larvas semiacuáticas pueden ser encontradas en la vegetación acuática y semiacuática o en troncos donde viven y se alimentan (Romero y Navarro 2009). En la afluente El Altar hubo una baja riqueza de familias de insectos acuáticos (10 familias), predominando los Chironomidae y Leptophlebiidae. El resto de las familias tuvo muy poca abundancia, como los Elmidae, Ceratopogonidae, Leptophyidae, Caenidae, Baetidae, Calomoceratidae e Hydropsychidae. Este tributario presentó un elevado estado de conservación y características geomorfológicas muy diferentes al resto de los tributarios de la cuenca; además de tener corrientes intermitentes y la presencia de cascadas que explicarían la baja riqueza y abundancia de familias. La mayoría de las familias reconocidas en el área se consideran tolerantes a las perturbaciones.

El gradiente de perturbación que existe en toda la longitud del cauce principal del Turbio y el tributario Guaremal se correlacionó con una menor riqueza y diversidad de familias, donde Diptera representa el orden más importante ya que contiene el mayor número de familias (once familias), de las cuales destaca Chironomidae. Esta familia presenta ciertos rasgos biológicos como alta fecundidad, ciclos de vida cortos y emergencia continua, los cuales le han permitido tener una amplia capacidad de adaptación a diferentes condiciones del hábitat y tolerar altos niveles de contaminación en las aguas (García et al. 2008).

Los dípteros Simuliidae fue la segunda familia con mayor representación por su abundancia y se distribuyó en todos los tributarios. Otras familias como Baetidae, Leptohyphyidae e Hydropsychidae se registraron en toda la cuenca y, además, fueron abundantes. Estas familias, al igual que los Chironomidae, son capaces de tolerar la baja concentración de oxígeno y el enriquecimiento de nutrientes (Barrios y Rodríguez-Olarte 2013). Las comunidades de insectos acuáticos en la cuenca del Turbio y sus afluentes son susceptibles al gradiente en la estructura del hábitat y sus atributos son respuesta al estado de conservación de los cauces. En la cuenca alta de río Claro existe buen estado de conservación y elevada riqueza y diversidad de familias. En contraste, el Turbio y Guaremal mostraron una disminución en su integridad, presumiblemente por la alteración en el régimen de perturbaciones y la simplicidad de las comunidades de insectos acuáticos.

b. Ictiofauna: En la cuenca del río Turbio se reconocieron 54 especies, en su mayoría registradas en los tributarios al este y al sur, pero las prospecciones aún no son definitivas. Dos órdenes de peces predominan: los Characiformes, con 22 especies, representados principalmente por los Characidae (14 sp), y los Siluriformes con 24 especies, siendo más abundantes los Loricariidae (15 sp). En las cuencas vecinas (Acarigua, Guache y Chirgua) los registros en colecciones biológicas y el conocimiento sobre la distribución de los peces sugieren que entre la transición de los llanos altos y piedemontes (>250 msnm) con las montañas habitan cerca de 95 especies ubicadas en 29 familias.

En los piedemontes y montañas de los ríos Claro y Turbio (> 700 msnm) se han registrado sólo 12 especies de peces en diez familias (*Bryconamericus cismontanus*, *Creagrutus taphorni*, *Lebiasina erythrinoides*, *Poecilia reticulata*, *Crenicichla geayi*, *Rhamdia quelen*, *Chaeostoma dorsale*, *Chaetostoma milesi*, *Farlowella acus*, *Hypostomus plecostomoides*, *Batrochoglanis raninus*, *Trichomycterus cf arleoi* y *Trichomycterus* sp "Turbio"), lo que representa

un número sensiblemente menor al estimado para ese intervalo de altura (~ 30 especies, Rodríguez-Olarte y Barrios 2014). Es usual que estas comunidades tengan un gradiente creciente en la riqueza de especies según se desciende hacia las planicies, pero este gradiente se trunca pues la contaminación de los cauces sugiere que muy pocas especies sobreviven en los valles del Turbio y de Las Damas, donde existe la mayor concentración de contaminantes. En las montañas las comunidades de peces son más simples y su abundancia disminuye en un gradiente regido por la depauperación. Rodríguez-Olarte y Barrios (2014) reconocieron que las comunidades de peces fueron más simples y con menor riqueza en localidades con menor estado de conservación.

La diversidad de peces en los ríos Turbio y Claro se encuentra en situación de riesgo, pues algunas de esas especies se restringen sólo a las montañas, lo que supone poblaciones únicas y relictuales (residuales) que tendrían poco o nulo intercambio efectivo con el resto de los tributarios. Es previsible que este fenómeno ocurra en varios cauces de montaña a lo largo de las cuencas andinas con intervención humana. Al norte de la cuenca se registra la menor riqueza y abundancia de especies (*Bryconamericus*, *Lebiasina*, *Poecilia*) y se prevé que la mayor parte de esas poblaciones será extirpada en el mediano plazo, pues los hábitats han sido progresivamente eliminados por el efecto conjunto de la intervención humana y el clima.

Las planicies al norte han sido sometidas a una violenta expansión de la frontera urbana y los efluentes locales no son tratados antes de ser vertidos a los cauces, que de usual son muy pequeños y de carácter intermitente o eventual. En los drenajes al este (Nuare y Buría) y al sur (Pilancones y El Altar) la riqueza alcanza un poco más de 40 especies, según los muestrajes y los registros de colecciones biológicas. Esos tributarios tienen poblaciones fragmentadas por la barrera que ofrece el hábitat depauperado del río Turbio. Tal barrera se magnifica durante el periodo de sequía, y debe perjudicar los ciclos de migraciones y los eventos reproductivos de las especies en el piedemonte llanero (Rodríguez-Olarte y Kossowski 2004), más aún si algunas son especies sensivas. Acaso tal situación explique la ausencia de especies migratorias regionales (*Prochilodus mariae*, *Brycon whitei*, *Salminus* sp, por ejemplo).

Es posible que la menor concentración de contaminantes en el tramo final del río Turbio durante el periodo de lluvias permita la dispersión o colonización de varias especies entre el cauce principal y sus tributarios, pero en el periodo de sequía la depauperación del hábitat acuático es excesiva, incluso hasta cuando el río ingreso los llanos altos, donde se desvián

parte de sus aguas para el embalse Las Majaguas (~4.250 ha). En este embalse evidenciado mortandades periódicas de varias especies de peces, mucha con importancia comercial (ej. *Pygocentrus cariba*, *Caqueata kraussii*, *Colossoma macropomum*, *Hoplias malabaricus* y *Prochilodus mariae*), y se estima que su recurrencia tiene relación con los niveles de contaminación del río Turbio.

La creciente fragmentación y pérdida de hábitat en la cuenca compromete la conservación de la ictiofauna, principalmente en las tierras bajas, donde es usual la mayor riqueza de especies. La ubicación y extensión de los parques nacionales en la cuenca ofrece protección directa sólo a pocas especies propias de cuencas altas; además, tales especies pueden tener una susceptibilidad elevada frente a los cambios en la precipitación, caudales y temperatura de las aguas asociadas con el cambio climático (Rodríguez-Olarte y Barrios 2014), y a esto se suma una importante extracción de agua en todos los cauces.

4. EL SÍNDROME URBANO DEL RÍO TURBIO

En la cuenca del río Turbio la intervención de los ríos es variable: baja y moderada en las cabeceras al norte y al este, mientras que es elevada y extrema en los tributarios al norte y en las planicies. Sin embargo, una buena parte de los ríos o tramos de los mismos demostraron un severo compromiso por la intervención extrema y pérdida generalizada de la integridad del ecosistema fluvial, sugiriendo un colapso del mismo. Las condiciones y eventos que originan la depauperación del río Turbio tienen condición de permanencia y periodicidad, y se estima que sus efectos han alterado los atributos del ecosistema fluvial, sugiriendo la presencia de un síndrome de los ríos urbanos. Los efectos de la urbanización y la agricultura en la degradación del hábitat fluvial y las comunidades asociadas son conocidos ampliamente, y en muchos casos tales alteraciones son muy difíciles de remediar o revertir (Booth 2005). Así, el síndrome de los ríos urbanos se expresa en la alteración permanente y cuantificable de la hidrología, la química del agua, la morfología del cauce, la proporción y descomposición de la materia orgánica y los atributos de algas, insectos y peces, entre otros. Los síntomas de estas alteraciones incluyen crecidas extraordinarias, concentraciones elevadas de nutrientes y contaminantes, cauces transformados y reducción de la riqueza biótica, usualmente con el incremento de poblaciones de especies tolerantes y la homogeneización de las comunidades de peces y la pérdida de su integridad (Walsh et al. 2005). Si bien la riqueza de especies de plantas y animales tiende a reducir en casos de

urbanización extrema, frente a perturbaciones moderadas (ej. áreas suburbanas) las respuestas pueden ser variables, principalmente por las características de la cuenca hidrográfica (McKinney 2008). Varias de las perturbaciones y síntomas descritas en el síndrome son percibidas en el río Turbio y varios de sus tributarios (Tabla 2). Estas evidencias ocurren de manera periódica o son permanentes, destacando:

- a. La modificación en la morfología de los cauces (erosión, amplitud y colmatación), las elevadas concentraciones de sedimentos en las aguas y la depauperación de las riberas.
- b. La extracción de agua de la mayoría de los cauces, (incluyendo transformación de cauces, acequias, tuberías) hacia centros urbanos y áreas de producción agropecuaria.
- c. La presencia de efluentes urbanos y agroindustriales no tratados y que son vertidos directamente en la red de alcantarillado o en los cauces.
- d. La deforestación de las cuencas altas, los bosques ribereños y las planicies, siendo extensa y creciente en el tiempo, incluso dentro de las áreas protegidas.
- e. El deterioro de las aguas en el río Turbio y sus tributarios y usualmente por encima de los límites permisibles, principalmente en las planicies de la conurbación. La contaminación se extiende a todo el hidrosistema, zonas de ribera y planicies de inundación. La pérdida y fragmentación de ecosistemas y hábitats fluviales, así como la retracción de comunidades y poblaciones (bosques, insectos acuáticos y peces). El fenómeno es general en todos los cauces asociados con los centros urbanos, elevado en los cauces bajo la influencia agropecuaria y perceptible en las áreas protegidas. Los tributarios con estado de conservación elevado tienen poblaciones de peces residuales y se consideran en situación de riesgo.

Por otro lado -considerando el papel gubernamental y la participación para la autogestión comunitaria para la conservación del río Turbio- se reconocen diferentes evidencias, todas con mal pronóstico:

- a. No hay aplicación de medidas adecuadas para la atenuación de las perturbaciones o para la restauración de los atributos de los ecosistemas fluviales.
- b. No hay aplicación de programas de aprovechamiento adecuado de los recursos hidrobiológicos fluviales en la cuenca. Existen planes permanentes de extracción de agua de los cauces y subterráneas con fines de uso potable.

- c. No hay tratamiento adecuado de aguas servidas. Sin embargo, son varios y diferentes los proyectos para la construcción de plantas de tratamiento de aguas, pero aún esperan por su desarrollo.
- d. Hay acciones puntuales de reforestación (e.j. misión Árbol) pero no se evidencia la disminución de las causas que originan la deforestación y la aplicación de programas de restauración para los bosques ribereños y cuencas hidrográficas.

Existe un consenso técnico para incrementar y mejorar el entendimiento de la susceptibilidad y la resistencia de los ecosistemas fluviales frente al régimen de perturbaciones urbanas y agropecuarias para favorecer su monitoreo, restauración y conservación (Utz et al. 2016). Lo anterior sugiere la necesidad de caracterizar las diferencias locales y regionales en los mecanismos de deterioro de ríos urbanos, así como también las consideraciones para su manejo, con lo cual se dispondría de bases de datos con utilidad comprobada para el biomonitoring. Una revisión primaria indica que muchos ríos son candidatos a ser evaluados en torno al síndrome urbano, principalmente aquellos asociados con los grandes centros urbanos, de usual capitales de estado. En la cuenca del Lago de Maracaibo están los ríos Apón (Machiques),

Tabla 2. Principales síntomas asociados con el síndrome de ríos urbanos y su ocurrencia en el río Turbio (↑: incremento, ↓: disminución). Modificado de Walsh et al. (2005) y Komíková (2012). Síntomas con evidencias en el área pero sin registros disponibles para comprobar la variación (+) y sin evidencias perceptibles o periódicas (○).

Aspectos	Síntomas	Ocurrencia Río Turbio	Observaciones para cada aspecto
Hidrología	↑ Frecuencia de inundaciones	○	Última crecida extraordinaria a finales del periodo de sequía (abril de 1999). En sequía el Turbio es intermitente en la conurbación y el caudal es suplido por aguas residuales y tributarios (La Ruezga).
	↑ Frecuencia de flujos erosivos	+	
	↑ Magnitud de crecientes	○	
	↓ tiempo de retraso para caudal máximo	○	
	↑ tiempo del hidrograma de tormenta	○	
	Cambios en la magnitud del caudal base	+	
Aguas y sedimentos	↑ Concentración de nutrientes (P, N)	↑	Adan (2010), Chirinos (2010),
	↑ Concentración de sustancias tóxicas	↑	Adan et al. (2014),
	↑ Temperatura	↑	Rodríguez-Olarde y Barrios (2014), República Bolivariana de Venezuela (2010). Este trabajo
	↑ Concentración de materia suspendida	↑	
	↓ Retención de materia orgánica	○	
Morfología de cauces	↑ Amplitud de cauce	↑	Pérdida de mesohábitats y predominio de corrientes.
	↑ Profundidad de pozos	○	García (2012), Pérez (2016)
	↓ Estabilidad de cauce taludes)	↓	
	↑ Socavación (cauce y taludes)	↑	Barrios y Rodríguez-Olarde (2013), Rodríguez-Olarde y Barrios (2014),
	Homogeneización a granulometrías finas	↑	
	Perturbación en la continuidad del río	↑	Este trabajo.
	Cambios en procesos de sedimentación	↑	
Invertebrados	↑ Número de especies tolerantes	↑	
	↓ Número de especies sensativas	↓	Barrios y Rodríguez-Olarde (2013). Este trabajo
	↓ Número de depredadores	↓	
Peces	Riqueza total de especies	↓	
	↓ Número de especies sensativas	↓	Poblaciones residuales.
	↑ Número de especies tolerantes	↑	Rodríguez-Olarde y Barrios (2014), Registros de CPUCLA en 2015. Este trabajo.
	Cambios en la abundancia total	↑	
	Cambios en la biomasa total	+	

Chama (Mérida), Motatán (Valera). En la vertiente Caribe destacan los ríos Coro (Coro), Tocuyo (El Tocuyo), Yaracuy (San Felipe), quebrada Tacagua (La Guaira), Tuy-Guaire (Caracas, Valles del Tuy), Neverí (Barcelona), Manzanares (Cumaná) y El Valle (Porlamar, isla de Margarita). Al norte de la cuenca del Orinoco destacan los ríos Torbes (San Cristóbal), Santo Domingo (Barinas), Guanare (Guanare), Acarigua (Acarigua), Cojedes (El Baúl), Guárico (Calabozo) y Apure (San Fernando), entre otros.

Las necesidades para tales evaluaciones se basan primero en reconocer las características de los atributos del clima, geología y diversidad biológica locales que los hacen susceptibles o resistentes frente a la depauperación. Partiendo de esta premisa, es necesario caracterizar espacial y temporalmente el síndrome urbano y su relación con ecosistemas de referencia regionales para reconocer gradientes (estados de conservación o integridad), esto incluye reconocer y cuantificar las variables que son susceptibles y resistentes a determinados impactos, incluso la respuesta en conjunto (resiliencia) para valorar y clasificar su estado, pero también sus opciones de restauración y monitoreo. Sin embargo, por encima de tales evaluaciones es muy relevante conocer y valorar la participación ciudadana en cuanto a la incorporación de contenido ambiental específico para la conservación de los ríos de manera transversal en los programas educativos formales.

Agradecimientos

Este trabajo es resultado parcial de la información generada en los proyectos de investigación (002-AG-2012, 004-AG-2015) auspiciados por el Museo de Ciencias Naturales (Colección Regional de Peces) y el Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Agradecemos las observaciones de José Vicente Montoya y los árbitros anónimos.

5. REFERENCIAS

- Abarca, O. 1991. *Planeación del aprovechamiento del Embalse Las Palmas sobre el río Cojedes, estado Cojedes*. Tesis de grado. Maestría en Desarrollo de Recursos de Aguas y Tierras. Centro Interamericano para el Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. CIDIAT. Mérida, Venezuela.
- Adan, G. 2010. *Evaluación fisicoquímica de la contaminación por descargas de aguas residuales en la subcuenca media y baja del río turbio*. Trabajo especial de Grado, Departamento de Investigación y Postgrado, Instituto Universitario Experimental de Tecnología Andrés Eloy Blanco, Barquisimeto, Venezuela.
- Adan, G., Marcó, L. M., Guédez, M., Colmenarez, A., Asuaje, J., Torres, G., Segura, I., Rojas, J. y Durán, R. 2014. Línea de tiempo de parámetros físico-químicos del agua del río Turbio para la gestión mediante el m-
- odelo ARCAL-RLA 010. *Observador del Conocimiento*. 2:6.
- Andara, A. J. 1987. *Estudio Geoquímico de la Contaminación de la Sub-Cuenca Alta del río Turbio*. Trabajo especial de grado, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Barrios, M. y Rodríguez-Olarte, D. 2013. Hábitat fluvial e insectos acuáticos indicadores del estado de conservación en la cuenca alta del río Turbio, en el estado Lara, Venezuela. *Bioagro*. 25(3): 151-160.
- Booth, D. B. 2005. Challenges and prospects for restoring urban streams: a perspective from the Pacific Northwest of North America. *Journal of the North American Benthological Society*. 24: 724-737.
- Booth, D. B., Roy, A. H., Smith, B. y Capps, K. A. 2015. Global perspectives on the urban stream syndrome. *Freshwater Science*. 35(1):412-420.
- Chirinos, F. 2010. *Calibración del modelo hidrodinámico (programa wasp 7.4) y kit de acuicultor para la caracterización fisicoquímica de las subcuenca media y baja del Río Turbio*. Trabajo de Grado, Ingeniería Agronómica, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado Decanato de Agro-nomía, Cabudare, Venezuela.
- Colonnello, G., Grande J. y Oliveira-Miranda, M. 2014. Distribución, estructura y composición florística de los bosques de palmas (chagaramales) de la cuenca del río Aroa, Venezuela. *Acta Biológica Venezolana*. 34(1):35-60
- COPLANARH. 1969. *Inventario nacional de aguas superficiales. Volumen I*. Comisión del plan nacional de aprovechamiento de los recursos hidráulicos. COPLANARH. Venezuela. 126 p.
- Espinosa-Blanco, A. y Seijas, A. E. 2012. Declinación poblacional del caimán del Orinoco (*Crocodylus intermedius*) en dos sectores del sistema del río Cojedes, Venezuela. *Ecotrópicos*. 25(1):22-35.
- Fernández Cirelli, A. y Du Mortier, C. 2005. Evaluación de la condición del agua para consumo humano en Latinoamérica. (pp: 11-26) En: *Posibilidades de nuevas tecnologías para la provisión de agua segura*. UNSAM. Argentina.
- Froehlich, C. G. 2009. Plecoptera. (pp: 145-166). En: Domínguez, E. & Fernández, H. (Eds.). *Macroinvertebrados acuáticos de Suramérica. Sistemática y Biología*. Fundación Miguel Lillo. Tucumán. Argentina.
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela. 1995. N° 5021, Decreto N° 883: Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de aguas y vertidos o efluentes líquidos.
- García, E. 2012. *Análisis espacio temporal de la cobertura y usos de la tierra relacionados a las áreas protegidas de la cuenca del río Turbio (estado Lara) mediante sistemas de información geográfica con fines de manejo de cuencas hidrográficas*. Trabajo especial de grado. Departamento de Ciencias Biológicas. Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto, Venezuela.
- García, L.; Delgado, C. y Pardo, I. 2008. Seasonal changes of benthic communities in a temporary stream of Ibiza (Balearic Island). *Limnetica*. 27(2): 259-272.
- González-Oropeza, K., Lasso, C. y Lasso-Alcalá, O. 2015. Ictiofauna dulceacuícola de la cuenca del río Tuy, vertiente Caribe (Venezuela): composición, uso y conservación. (pp: 393-410). En: Lasso, C. A., J. F. Blanco-Libreros y

- Sánchez Duarte, P (Eds.). XII. *Cuencas pericontinentales de Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela: tipología, biodiversidad, servicios ecosistémicos y sostenibilidad de los ríos, quebradas y arroyos costeros.* Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia.
- Google. 2015. Google earth Pro. (<http://www.google.co-ve/earth/download/gep/agree.html>). Versión 7.1.5. 1557 accedida 2015.
- Hawley, R. J. y Vietz, G. J. 2016. Addressing the urban stream disturbance regime. *Freshwater Science.* 35(1):278-292.
- Instituto Nacional de Estadística. 2014a. XIV censo nacional de población y vivienda: resultados por entidad federal y municipio del estado Lara. Caracas, Venezuela.
- Instituto Nacional de Estadística. 2014b. XIV censo nacional de población y vivienda: resultados por entidad federal y municipio del estado Yaracuy. Caracas, Venezuela.
- Komíková, D. 2012. The Urban Stream Syndrome -a Mini- Review. *Open Environmental and Biological Monitoring Journal.* 5: 24-29.
- López, M. J. y Andressen, R. 1996. Caracterización climática de las cuencas de los ríos Yacambú y Tocuyo en el ramal andino de la región centro occidental de Venezuela. *Bioagro.* 8: 87-95.
- Machado-Allison. 2017. La conservación de ambientes acuáticos: petróleo y otras actividades mineras en Venezuela. Capítulo 9. (pp: 189-201). En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.). *Ríos en riesgo de Venezuela. Vol. I. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela.* Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Mazzucconi, S. A., López, M. L. y Bachmann, A. O. 2009. Hemiptera-Heteroptera: Gerromorpha y Nepomorpha. (pp: 167-232) En: Domínguez, E. y Fernández, H. (Eds.). *Macroinvertebrados acuáticos de Suramérica. Sistemática y Biología.* Fundación Miguel Lillo. Tucumán. Argentina.
- McKinney, M. L. 2008. Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosystems.* 11: 161-176.
- Meyer, J. L., M. J. Paul, y Taulbee, W. K. 2005. Stream ecosystem function in urbanizing landscapes. *Journal of the North American Benthological Society.* 24: 602-612.
- Pérez, F. 2016. *Evaluación de la cobertura de la tierra en el monumento natural María Lionza y su área de influencia y su relación con la conservación de los ecosistemas fluviales.* Trabajo especial de grado. Departamento de Ciencias Biológicas. Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto, Venezuela.
- República Bolivariana de Venezuela. 2010. *Informe especial: Actuación coordinada en el sistema nacional de control fiscal para evaluar los problemas ambientales y el deterioro de las relaciones económicas en la cuenca del río más importante de cada entidad federal.*
- Contraloría General de la República. Caracas. Venezuela.
- Segnini, S. y Chacón, M. M. 2017. El Chama: un río andino en riesgo. Capítulo 8. (pp: 29-58). En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.). *Ríos en riesgo de Venezuela. Vol. I. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela.* Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Riestra, J. 2017. El Estado y las leyes en la protección de los ríos en Venezuela. Capítulo 11. (pp: 203-219). En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.). *Ríos en riesgo de Venezuela. Vol. I. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela.* Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Rodríguez-Olarte, D. y Barrios, M. 2014. Gradientes, estabilidad y estado de conservación de peces en la cuenca alta del río Turbio, vertiente andina del Orinoco, Venezuela. *Revista de Biología Tropical.* 62 (3): 987-996.
- Rodríguez-Olarte, D., y K. Kossowski. 2004. Reproducción de peces y consideración de ambientes en eventos de crecidas en el río Portuguesa, Venezuela. *Bioagro.* 16(2): 143-147.
- Romero, F. y Navarro, F. 2009. Lepidoptera. (pp: 309-340). En: Domínguez, E. & Fernández, H. (Eds.). *Macroinvertebrados acuáticos de Suramérica. Sistemática y Biología.* Fundación Miguel Lillo. Tucumán. Argentina.
- Segnini, S. y Chacón, M. M. 2017. El Chama: un río andino en riesgo. Capítulo 8. (pp: 29-58). En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.). *Ríos en riesgo de Venezuela. Vol. I. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela.* Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Urdaneta, C. 1989. *Diagnóstico de Contaminación a Nivel Urbano-Industrial de la Cuenca del río Turbio.* Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR), Barquisimeto, Venezuela.
- Utz, R., K. Hopkins, L. Beesley, D. B. Booth, R. J. Hawley, M. Baker, M. C. Freeman, y Jones, K. L. 2016. Ecological resistance in urban streams: the role of natural and legacy attributes. *Freshwater Science.* 35(1):380-397.
- Von Ellenrieder, N. y Garrison, R. 2009. Odonata, Capítulo (pp: 495-143). En: Domínguez, E. y Fernández, H (Eds.). En: Domínguez, E. & Fernández, H. (Eds.). *Macroinvertebrados acuáticos de Suramérica. Sistemática y Biología.* Fundación Miguel Lillo. Tucumán. Argentina.
- Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S. E., Sullivan, C. A., Reidy Liemann, C. y Davies, P. M. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature.* 467: 555-561
- Walsh, C. J., Roy, A. H., Feminella, J. W., Cottingham, P. D., Groffman, P. M., y Morgan, R. P. 2005. The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. *Journal of the North American Benthological Society.* 24: 706-723.

Capítulo 4

Los ríos de los llanos de Apure

José V. MONTOYA¹, Anais OSÍO¹, Mary C. PÉREZ¹, y Víctor PINEDA²

1. Laboratorio de Ecología Acuática. Centro de Ecología. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Apdo. 21827, Caracas 1020-A. Venezuela.

jose.v.montoya@gmail.com, anais.osio@gmail.com, maryperezc0111@gmail.com

2. Centro de Estudio de Transformaciones Sociales, Ciencia y Conocimientos. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Apdo. 21827, Caracas 1020-A. Venezuela.

victorpineda@hotmail.com

La red hidrográfica de los llanos de Apure está dominada por sistemas de grandes ríos con extensas planicies inundables, sobre un territorio de relieve plano, en donde los cursos de agua drenan con sentido oeste-este hasta desembocar en el río Orinoco. Los principales ríos de la región son el Apure, Meta, Arauca, Capanaparo y Cinaruco. El objetivo de este trabajo es presentar un diagnóstico socio-ambiental de la situación actual de los ecosistemas fluviales del estado Apure y de los principales factores antrópicos que ejercen presión sobre ellos. El levantamiento de información se realizó mediante la revisión de fuentes publicadas, un muestreo limnológico intensivo en 16 localidades fluviales y entrevistas abiertas a informantes clave en las localidades de muestreo. Los ríos llaneros de Apure están influenciados por una fuerte estacionalidad hidrológica, con un periodo de lluvias (abril-octubre) que marca los máximos niveles de los ríos, los cuales se caracterizan por tener regímenes hidrológicos monomodales que determinan los patrones y procesos ecológicos de estos ecosistemas, así como la pesca y las actividades agropecuarias. La sobreexplotación pesquera con fines comerciales, la alteración hidrológica de los cursos de agua, la colmatación de cauces por elevada deposición de sedimentos, la contaminación de aguas en las adyacencias de los centros poblados, la inequidad transfronteriza y el cambio climático, entre otros, constituyen importantes factores de riesgo para las poblaciones humanas y los ecosistemas fluviales del estado Apure. Se proyecta que todos estos riesgos podrían agudizarse si planes de desarrollo de gran envergadura, tales como el eje Orinoco-Apure, se llevasen a cabo sin considerar una planificación construida con la inclusión de todos los actores involucrados.

Palabras Clave: grandes ríos, planicies inundables, pesquerías continentales, riesgos y amenazas, conflictos socioambientales.

INTRODUCCIÓN

Los grandes ríos de los llanos de Apure drenan un paisaje plano dominado por vegetación de sabana, el cual está sujeto a un régimen hidrológico monomodal anual que ocasiona inundaciones periódicas en grandes extensiones de territorio (Tamayo 1972, Sarmiento y Pinillos 2001). Estos ríos son considerados como los ríos más productivos del país en cuanto a desembarques pesqueros y aunque la región presenta baja densidad poblacional, algunos de estos sistemas fluviales se encuentran afectados por actividades humanas (Novoa 2002). La configuración del paisaje en estas llanuras, incluyendo las características de disposición espacial de la red de drenaje y de funcionalidad ecológica de los ríos de los llanos del estado Apure, responde a la división de éste en distintas unidades deposicionales recientes y al origen de los ríos, lo que causa contrastes importantes entre cuencas y entre diferentes tramos a lo largo de los recorridos fluviales (Sarmiento y Pinillos 2001, Infante 2008). Algunos ríos como el Meta, Apure y Arauca, que presentan actividad pesquera comercial, tienen sus nacientes en la Cordillera de los Andes, mientras que otros como el Capanaparo, Cinaruco y Guaritico se originan en medio de la sabana, haciendo que sus características físico-químicas y biológicas sean contrastantes, formando un mosaico intercalado de cuencas entre ríos ricos y pobres en iones y sólidos.

Los estudios limnológicos y ecológicos en los ecosistemas acuáticos de los ríos de Apure son escasos considerando su extensión, su riqueza de especies y su importancia comercial como sitios de producción pesquera. El río Cinaruco es el sistema mejor estudiado de la región, donde desde hace más de dos décadas se han estado realizando investigaciones en ecología acuática. El río Apure, a pesar de poseer la cuenca más grande de tributario alguno del Orinoco, y de estar en los planes de desarrollo de la Nación desde hace más de 30 años, gracias al eje de desarrollo Orinoco-Apure, no ha recibido la correspondiente atención en investigación científica. Otros sistemas, entre ellos el de los ríos Meta, Arauca, Matiyure, Capanaparo y Cunaviche, son los que han recibido menor atención y los vacíos de información son muy evidentes.

Los registros del poblamiento del territorio que actualmente se corresponde con el estado Apure se remontan al período precolonial, encontrándose evidencias de complejos cerámicos que dan cuenta de ello. Actualmente habitan el territorio comunidades indígenas, principalmente Hiwi y Pumé, asentadas en las riberas de algunos ríos del estado. Los relatos etnográficos de sus cosmovisiones y modos de subsistencia reflejan un profundo conocimiento del

entramado ecológico de los ecosistemas fluviales de la región. De igual forma, comunidades criollas asentadas en los llanos bajos desde mediados del siglo XVII, a través de la práctica de actividades como la pesca han llegado a comprender el comportamiento de los ríos de la región. En este sentido, se rescata la información de los distintos actores que habitan el estado Apure con la finalidad de aproximarse de forma más real a un entendimiento más profundo de estos sistemas y de los riesgos y amenazas a los que están sometidos actualmente.

A pesar de haberse superado las barreras de aislamiento y fragmentación del territorio debido a la estacionalidad en la inundación de los ríos, mediante la construcción de vialidad y puentes, esta región sigue siendo una de las menos densamente pobladas de Venezuela (Infante 2008). El desarrollo de las actividades industriales es muy reducido en el estado, siendo éste principalmente ganadero y pesquero. El desarrollo de las actividades agropecuarias ha estado limitado por la baja calidad de los suelos y por el marcado régimen de lluvias y sequía que impide el uso de grandes extensiones de sabana sujetas a inundación durante las lluvias y al déficit hídrico importante que se da en sequía (Comerma y Luque 1971, Infante 2008). La modificación de algunos ecosistemas llaneros del occidente del estado, mediante la construcción de estructuras de diques y lagunas que regulan el ciclo hidrológico en las sabanas (módulos de Mantecal), fue realizado para contrarrestar las limitaciones impuestas por la naturaleza para el desarrollo de la agricultura y ganadería tradicional sin aún haberse evaluado completamente, ni entendido en su totalidad su efecto sobre estos ecosistemas (Sarmiento y Pinillos 2001). Con miras a promover un mayor desarrollo económico de la región, incluyendo el fortalecimiento de la soberanía nacional en esta zona fronteriza del país, se han formulado a lo largo de las últimas décadas propuestas como el Eje de Desarrollo Orinoco-Apure o la fundación de nuevas ciudades como Ciudad Sucre, que aunque ambiciosas en su concepción, no han sido más que esfuerzos infructuosos para alcanzar el desarrollo armónico deseado (Rodríguez 1998).

Los ecosistemas fluviales son parte fundamental para articular las actividades industriales y comerciales asociadas a grandes proyectos de desarrollo a través de su rol como arterias de comunicación y transporte de bienes y como fuente de agua. Esto coloca a estos ecosistemas en un potencial alto riesgo debido a que su utilización en megaproyectos se planifica con un afán desarrollista tal como lo plantea Silva León (2005) y que se opone al objetivo de uso sustentable y amenaza la persistencia de éstos en el tiempo, sin tomar en cuenta su funcionamiento eco-

lógico y su valor como ecosistemas proveedores de bienes y servicios (Montoya et al. 2011). Debido a los grandes vacíos de información existentes sobre muchos de estos ríos llaneros y a las crecientes amenazas sobre la integridad de éstos y sobre su capacidad de brindar bienestar a la población, es necesaria la generación de diagnósticos actualizados. En este sentido, y considerando la multidimensionalidad de estos grandes ecosistemas, el objetivo principal de este capítulo es dar a conocer la situación socioambiental y los riesgos y amenazas actuales de los ecosistemas de grandes ríos de los llanos de Apure.

ÁREA DE ESTUDIO

Los llanos de Apure, ubicados en una gran zona de subsidencia originada debido al levantamiento de la cordillera andina, conforman un paisaje de sabanas drenadas por grandes ríos que discurren en sentido

oeste-este debido a la disposición de fallas y sinclinales que modulan la topología de la red fluvial (Sarmiento y Pinillos 2001). Este extenso territorio, que como una cubeta se ha llenado con material aluvial, presenta cinco unidades deposicionales del Cuaternario, que van desde las más jóvenes que se encuentran en las llanuras aluviales actuales y subactuales (Holoceno y Pleistoceno tardío) en la parte centro-occidental y norte del estado, pasando por las llanuras eólicas del Pleistoceno intermedio en la región centro-oriental, y la más antigua, correspondiente a la altiplanicie, al sur del estado entre los ríos Cinaruco y Meta (Pleistoceno temprano) (Comerma y Luque 1971, Sarmiento y Pinillos 2001). Los principales paisajes del estado Apure según Comerma y Luque (1971) incluyen las llanuras aluviales, las llanuras eólicas, la altiplanicie, la selva de San Camilo y el piedemonte (Figura 1). El paisaje de llanuras aluviales es el más extenso del esta-

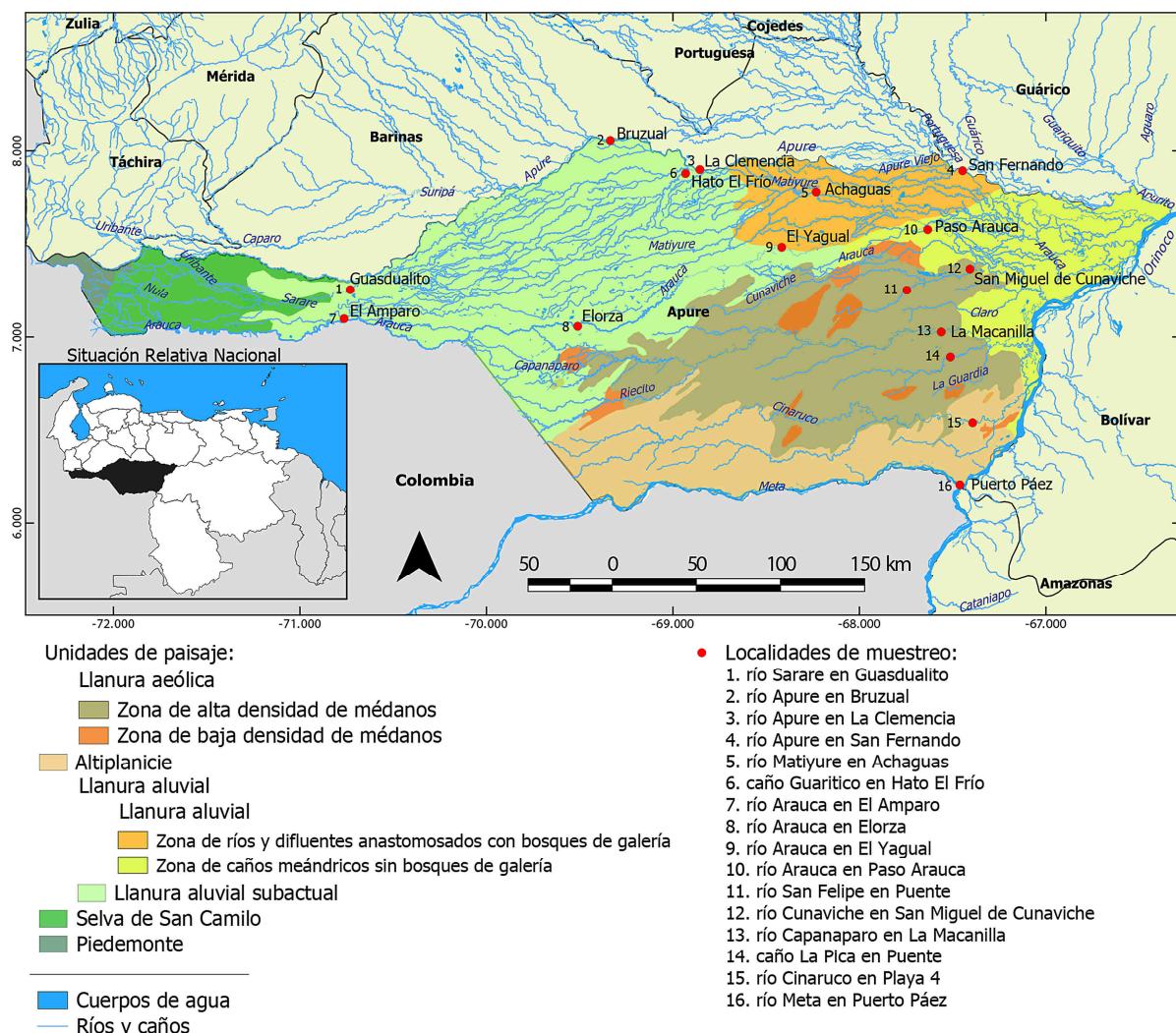


Figura 1. Mapa del estado Apure mostrando la red hidrográfica y las localidades de muestreo visitadas durante aguas bajas de 2015. Las unidades de paisaje según Comerma y Luque (1971) aparecen delimitadas con diferentes colores.

do Apure, con un relieve modelado por deposición diferencial del material creando el relieve característico de banco, bajío y estero de los llanos. Ramírez (1967) añade que estas unidades de microrelieve se ubican entre los 65 y 100 msnm y poseen una escasa pendiente (0,02%). Los bancos son las zonas más altas y arenosas que no se inundan; los bajíos son las áreas intermedias de suelos arenoso-arcillosos que retienen agua durante la estación de lluvias y se secan entrado el verano; y los esteros son las depresiones del terreno en cuyos suelos arcillosos, más impermeables, el agua es almacenada durante todo el ciclo hidrológico (Rial 2007). Estas llanuras aluviales se dividen en actuales y subactuales dependiendo de la antigüedad de los sedimentos. Las primeras corresponden principalmente a las llanuras aluviales de desborde, donde hay una alta densidad de ríos y caños, siendo el paisaje más inundable de todos; el cual es subdividido en zonas de ríos y difluentes anastomosados con bosques de galería y zonas de ríos meandríticos sin bosques de galería.

Las llanuras aluviales subactuales, que ocupan cerca de un 30% de la superficie del estado, presentan suelos con mayor desarrollo pedogenético, pero al igual que las actuales, estas llanuras con poca diferenciación topográfica, son mal drenadas y propensas a inundaciones. Por otro lado, fotografías aéreas e imágenes de satélite muestran como el viento ha modelado la porción centro-oriental del estado al sur del río Arauca, en donde se evidencian grandes “arañazos” con dirección de los vientos alisios del noreste, paisaje que se conoce como llanuras eólicas. Este paisaje está caracterizado por la presencia de médanos longitudinales, que orientados en dirección NE-SW, pueden estar activos o estabilizados por vegetación o por material aluvial del Holoceno, y presentarse en baja o alta densidad (Comerma y Luque 1971, Sarmiento y Pinillos 2001). La presencia de estos campos de médanos ha sido considerada evidencia de condiciones áridas en el pasado, durante el periodo seco entre el último máximo glacial y el Pleistoceno tardío (Tricart 1974).

El paisaje de altiplanicie, al sur del estado, es drenado por numerosos ríos y caños en un terreno ligeramente más elevado, mejor drenado y con un relieve con suaves ondulaciones. Hacia el extremo occidental del estado, la selva de San Camilo y el piedemonte andino son los otros dos paisajes mencionados por Comerma y Luque (1971). El primero está sobre sedimentos aluvionales recientes y con el piedemonte se da paso a las terrazas aluviales propias de esta región. Siguiendo la clasificación paisajística propuesta por Comerma y Luque (1971), las categorías de microrelieve planteadas por Ramírez (1967) y

lo descrito por Sarmiento y Pinillos (2001), podemos describir la vegetación del estado como sigue a continuación. En primer lugar, el paisaje de llanuras aluviales está conformado por un mosaico de vegetación que se corresponde con el relieve (banco, bajío y estero). De esta forma podemos encontrar: bosques caducifolios no inundables y sabanas ubicadas en los bancos, sabanas inundables ubicadas en los bajíos y humedales establecidos en los esteros. Adicionalmente, en las llanuras aluviales la alta densidad de ríos y difluentes anastomosados determina la presencia de bosques de galería (Comerma y Luque 1971).

Por otra parte, en la llanura eólica se asientan los médanos donde predominan amplias sabanas abiertas denominadas sabanas estacionales (Sarmiento y Pinillos 2001) y la vegetación boscosa se resume a bosques de galería y extensos morichales (Aymard y González 2007). El paisaje de la altiplanicie se corresponde al sector sur del estado donde encontramos sabanas arboladas estacionales (Sarmiento y Pinillos 2001). Por último, la cobertura vegetal del paisaje de la selva de San Camilo y el piedemonte andino, al norte del estado Apure, se corresponde con la transición de los bosques semideciduos a los siempreverdes (Infante 2008).

El clima de los llanos de Apure es de tipo tropical lluvioso de sabana (Aw), dominado por los vientos alisios del noreste y la migración latitudinal de la zona de convergencia intertropical (Infante 2008). Los climadiagramas de ocho localidades distribuidas en la región (en la Figura 2 se presentan cuatro de ellas) muestran alta similitud entre sitios en cuanto a la marcada variación mensual de las precipitaciones, con una estación lluviosa entre los meses de abril a octubre (abril a noviembre en Guasdualito y Cararabo) con el máximo pico de precipitación en julio y una fuerte sequía los meses restantes. Sin embargo, se observa un incremento de las precipitaciones hacia el occidente y el sur. La temperatura media anual es de alrededor de 27 °C con amplitudes entre los meses más y menos cálidos no mayores a los 3,2 °C. Según Sarmiento y Pinillos (2001) las fluctuaciones de temperaturas diarias pueden ser tan altas como 12°C. La precipitación anual va de 1.342 mm en San Fernando a valores de 2.224 mm en Cararabo.

En este capítulo vamos a enfocarnos en los grandes ríos de los llanos de Apure, tales como el Apure, Meta, Arauca, Capanaparo, Cinaruco y otros de menor tamaño que conforman la compleja red fluvial del estado. Es importante mencionar que la mayoría de los ríos del estado tiene su origen fuera de él. En el caso del río Apure la mayor parte de su cuenca se encuentra repartida en los estados llaneros centro-occidentales y andinos. Este río tiene la cuen-

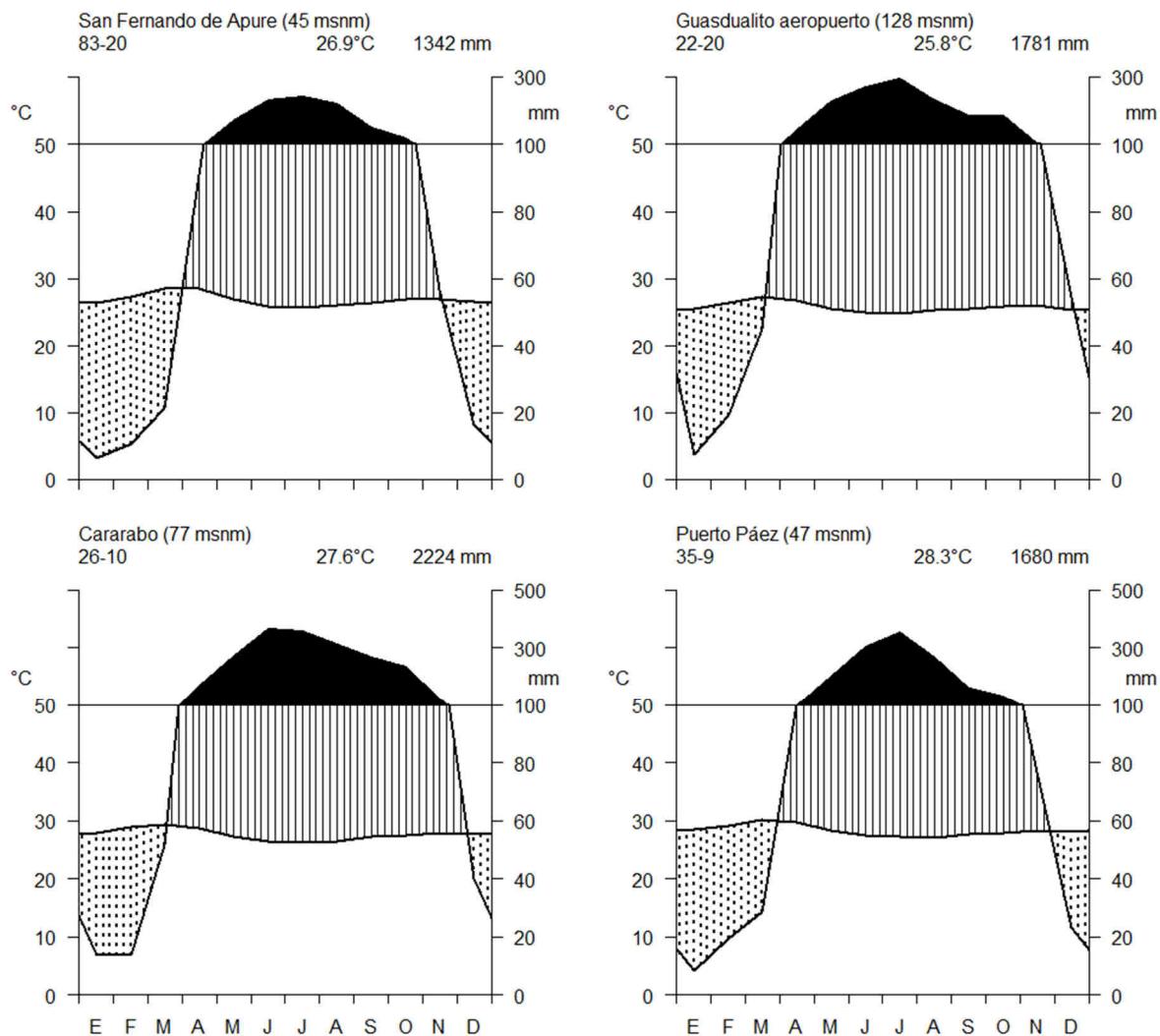


Figura 2: Climadiagramas de localidades en los llanos del estado Apure. Fuente: Realización propia con datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) para las estaciones San Fernando de Apure aeropuerto (Serial #4404), Guasdualito aeropuerto (Serial #4172), Cararabo (Serial #5203) y Puerto Páez (Serial #5484).

ca hidrográfica más extensa de tributario alguno del Orinoco ($\sim 170.000 \text{ km}^2$, Lewis et al. 1995), presenta complejidades importantes en los tramos que discurren sobre el estado, ya que es en estos donde el río recibe a sus mayores afluentes que provienen de zonas con más afectación antrópica como los ríos Portuguesa, Guárico y Uribante, los cuales se encuentran impactados por la presencia de centros urbanos, represas y un alto uso del suelo en actividades agropecuarias.

El Arauca y el Meta son ríos que nacen en los Andes colombianos, conforman las fronteras políticas entre Venezuela y Colombia a lo largo del límite sur del estado Apure y como tales tienen particularidades socioambientales que serán tratadas en este capítulo. El río Meta, con una cuenca de 103.000 km^2 ,

es el más caudaloso del estado con $5.694 \text{ m}^3/\text{s}$ en su desembocadura en el Orinoco (Infante 2008) y desde el punto de vista ecológico es un sistema desconocido en el tramo correspondiente al territorio venezolano. El Arauca, con una cuenca de 30.700 km^2 , atraviesa El Amparo, Elorza, El Yagual y Paso Arauca a lo largo de su recorrido hacia el Orinoco. Este es un río muy complejo desde el punto de vista de la topología de su red fluvial, con la presencia de muchos difluentes que, por un lado hacen difícil la estimación precisa de su caudal y por el otro, causan diferencias limítrofes entre Venezuela y Colombia (Pérez-Lecuna 2013). El Cinaruco y el Capanaparo, a diferencia de los dos ríos mencionados anteriormente, no tienen su origen en las montañas sino en las sabanas de Colombia. Son ríos con tamaño y caudal intermedio para el estado,

atraviesan las llanuras eólicas centrales de Apure y parte de sus cuencas bajas se encuentran protegidas bajo la figura del Parque Nacional Santos Luzardo, también reconocido como Cinaruco-Capanaparo (Infante 2008). En estos ríos se encuentran los pueblos indígenas Pumé y Hiwi. Otros ríos tratados en el capítulo, como el Sarare y Caño Guaritico (ambos afluentes del río Apure), La Pica (tributario del río Capanaparo), Matiyure y Cunaviche (tributarios del Arauca) y San Felipe (tributario del Cunaviche) son de menor tamaño y caudal. Entre esos últimos tenemos ríos bien estudiados como el Caño Guaritico, cuya flora, fauna y aspectos ecológicos han sido investigados en detalle, especialmente su cuenca y curso dentro del Hato El Frío. Los demás ríos no han sido objeto de estudio, a no ser por investigaciones puntuales o como parte de localidades de muestreo en inventarios generales de fauna y flora acuáticas.

MÉTODOS

El levantamiento de información ecológica se realizó mediante la revisión de fuentes publicadas, un muestreo limnológico intensivo en 16 localidades fluviales y entrevistas abiertas realizadas a informantes clave en las localidades de muestreo entre finales de febrero y principios de marzo de 2015. En la Figura 1 se presenta la ubicación de los sitios de muestreo (16) en los ríos Sarare (1), Apure (3), Arauca (4), Caño Guaritico (1), Matiyure (1), San Felipe (1), Cunaviche (1), Capanaparo (1), Caño La Pica (1), Cinaruco (1) y Meta (1).

En la zona litoral de cada sitio, en una playa con profundidad entre 40 a 60 cm, se midió la profundidad, velocidad de la corriente, temperatura y oxígeno disuelto del agua *in situ*. Se tomaron muestras de agua en botellas de polietileno y vidrio y fueron refrigeradas en hielo o preservadas hasta su llegada al laboratorio para la determinación de parámetros físico-químicos y biológicos. Los análisis realizados incluyeron pH, conductividad, alcalinidad, sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos totales (ST), fósforo reactivo soluble (FRS), fósforo total (FT), nitratos, nitritos, silicatos y clorofila-*a*.

En sedimentos, se tomaron muestras por triplicado utilizando una placa de Petri y una espátula para la determinación de clorofila-*a* y materia orgánica total. Los métodos analíticos para todas las determinaciones siguen los protocolos estándar de APHA (2005) y Hauer y Lamberti (2007). Adicionalmente, se hizo un reconocimiento visual sobre el hábitat donde se tomaron las muestras y se registró las características del tipo de agua y condiciones de los hábitats y tramos de los ríos donde se colectaron las muestras. Usando los resultados de las variables físico-químicas y

biológicas obtenidos se realizó un análisis multivariado de componentes principales (ACP) escalado para ordenar los sitios de muestreo y visualizar agrupaciones y asociaciones entre éstos y las variables medidas utilizando la función “rda” del paquete VEGAN ver. 2.4-1 con el software libre R, ver. 3.3.0 (Oksanen et al. 2016). Previamente se estandarizaron las variables y se realizó una correlación múltiple (Pearson) para seleccionar las no redundantes entre sí.

Las fuentes empleadas en el desarrollo de las secciones “Paisaje biocultural ribereño” y “Riesgos y Amenazas” se basaron principalmente en: 1) la utilización de referencias etnográficas que describen los patrones de asentamiento y modos de subsistencia de la población indígena de la región, haciendo especial énfasis en la búsqueda de prácticas y conocimientos tradicionales que estuviesen relacionados con el significado cultural del agua, específicamente de ríos, caños y morichales y cómo estos cursos de agua juegan un rol central en los patrones de organización socio-espacial y en el uso de los suelos de la región. Sin embargo, existe limitación de la literatura en cuanto a que ese no es el eje central de las investigaciones, por el contrario, la mayoría de ellas están casi todas referidas a distribución geográfica, patrones de asentamiento, actividades de subsistencia y paisaje cultural y 2) datos primarios obtenidos a través de entrevistas abiertas realizadas a pobladores locales de las áreas de muestreo durante nuestra visita en los meses de febrero y marzo de 2015 para un total de 15 entrevistas, la mayoría de ellas realizadas a grupos focales de pescadores, extractores de arena y algunas entrevistas individuales a líderes comunitarios reconocidos localmente.

CARACTERIZACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS FLUVIALES DE APURE

El pulso de inundación y la configuración de patrones y procesos ecológicos: Los ríos llaneros de Apure presentan una dinámica ecológica fuertemente marcada por el pulso anual de inundación en donde todos sus ríos responden al aumento de precipitación produciéndose inundaciones en las extensas planicies asociadas a estos sistemas fluviales. Un pulso de inundación monomodal, mediado estacionalmente por variaciones temporales en la ubicación de la zona de convergencia intertropical, es propio de los grandes sistemas fluviales del trópico (Welcomme 1979, Junk et al. 1989). El Orinoco y sus tributarios, incluyendo todos los ríos del estado Apure, presentan esta dinámica estacional (Lewis et al. 1995, Montoya et al. 2011) con un pico de inundación hacia mediados de año, entre finales de junio y mediados de septiembre, dependiendo de su ubica-

ción geográfica. Los hidrogramas presentados para los ríos Apure y Arauca en sus diferentes estaciones hidrométricas, así como para el Meta, Cinaruco, Matiure y Sarare (Figura 3) dan cuenta de la marcada diferencia en gastos líquidos o caudal entre el periodo seco (aguas bajas) y el de máxima inundación (aguas altas), siendo el Meta el río más caudaloso, siguiéndole en orden descendente el Apure y el Arauca. Otra apreciación en esta figura es el desplazamiento temporal del pico de máxima inundación en las estaciones del río Apure, donde dichos picos ocurren primero en las localidades más occidentales (julio) (Sarare y Bruzual), mientras que el máximo de inundación en El Samán se registra en agosto y, por último en septiembre, tenemos el pico máximo en San Fernando.

La gran cantidad de difluentes del Arauca no permite apreciar este patrón de incremento aguas abajo en el caudal debido a que las estimaciones de descarga líquida de este río no consideran todos sus difluentes y brazos. Un aspecto importante en la dinámica de estos grandes ríos y que no se observa en la Figura 3, por ser construida con promedios mensuales de caudal, es la variabilidad interdiaria en los niveles y caudales de los ríos. En este sentido la variabilidad es mucho mayor en ríos pequeños y durante los periodos de transición hidrológica, lo que se conoce como “aguas en ascenso” y “aguas en descenso”. En los periodos en que el nivel de los ríos aumenta y comienza a inundar la planicie inundable, se registran continuos aumentos y descensos del nivel durante varias semanas. Eventos cortos de conexión y/o desconexión del río con la planicie, o entre los diferentes cuerpos de agua en ésta, ocurren de manera diferente año a año y dependen del régimen de lluvias en la cuenca. Esta variabilidad interanual en la dinámica de inundación puede ser considerada como un factor clave para las poblaciones de organismos acuáticos que viven en estas zonas de transición acuático-terrestre. Esto también ocurre en el periodo de descenso de aguas, cuando la planicie inundable se “desagua” hacia los ríos y se inicia el desecamiento. Los humanos no escapan a esta variabilidad interanual, y estos eventos determinan de manera crucial un atributo muy marcado en los habitantes de las planicies inundables de Apure: la trashumancia, tal como lo plasma Rómulo Gallegos en sus novelas *Cantaclaro* y *Doña Bárbara* (Cunill Grau 2009).

Los efectos de la estacionalidad hidrológica sobre la ecología de los ecosistemas inundables de grandes ríos del Orinoco es presentada en Lewis et al. (2000) y Montoya et al. (2011), entre otros. En específico, para los ecosistemas fluviales apureños, las investigaciones realizadas en el río Apure, el Caño Guarítico en Hato El Frío y en el río Cinaruco nos permiten en-

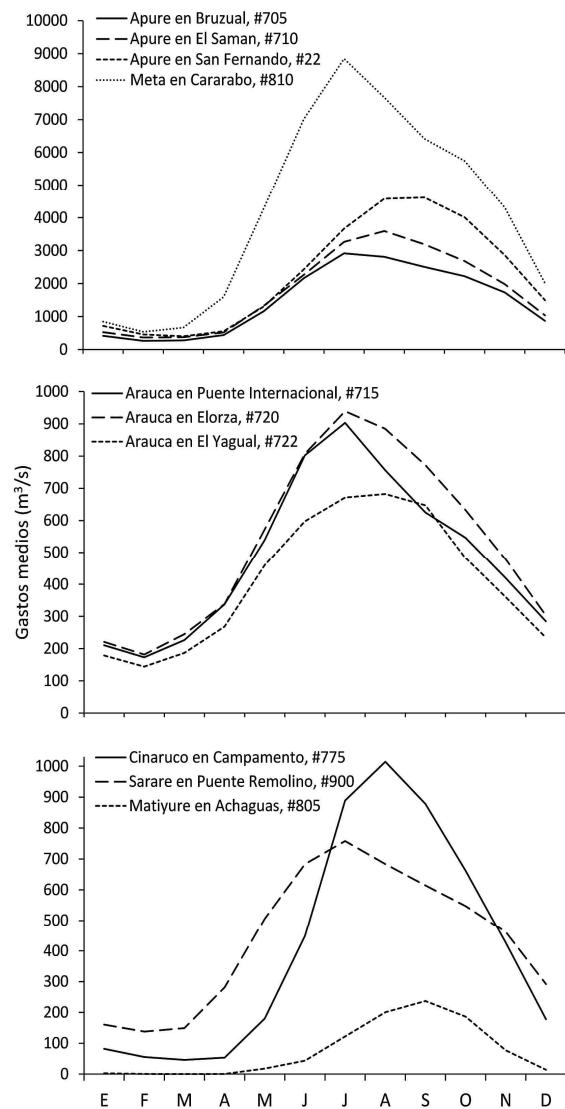


Figura 3. Hidrogramas (gastos medios mensuales en m^3/s) de algunos ríos de los llanos de Apure en diferentes estaciones hidrométricas. Fuente: Realización propia con datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH).

tender la gran importancia de la dinámica estacional anual sobre los organismos, comunidades y ecosistemas. En ciertos casos, algunas de las preguntas respondidas por investigaciones realizadas en los ríos de Apure han trascendido lo local y han aportado al entendimiento y manejo de los ecosistemas fluviales tropicales, incluso contribuyendo al avance de conceptos y teorías más generales en limnología y ecología. Los trabajos de Saunders y Lewis (1988a, 1989) y de Mora et al. (2010) en el río Apure y de Montoya et al. (2006) en el río Cinaruco, muestran como el ciclo anual de inundación regula las concentraciones y transporte de solutos y parámetros físico-químicos

de las aguas llaneras. Saunders y Lewis (1988a) reportan patrones bimodales de concentración de C, N y P a lo largo del ciclo anual de inundación que pudieran ser considerados como característicos de grandes planicies inundables no perturbadas, subrayando así la importancia que tienen estas extensas áreas (delta interno del Apure) para la dinámica hidroquímica temporal. Este último punto también es resaltado por Mora et al. (2010), quien coloca a la planicie inundable como fuente de elementos y determinante en la variación estacional de la fracción disuelta en el río. Montoya et al. (2006) describen la variabilidad estacional de parámetros físico-químicos y clorofila sestónica y bentónica en un ciclo anual en el río Cinaruco y sus lagunas inundables, encontrando que durante aguas bajas tanto el río como sus lagunas se diferencian entre sí, mientras que en aguas altas estos hábitats presentan valores similares, en lo que Thomaz et al. (2007) describe como un proceso de “homogenización” debido a la inundación. Esta fuerte estacionalidad hidrológica en el Cinaruco también afecta el metabolismo fluvial de las zonas litorales del río. Cotner et al. (2006) mostraron que el Cinaruco es un sistema que a pesar de ser muy pobre en nutrientes presenta una alta productividad en la zona litoral, sugiriendo tasas de reciclaje de nutrientes extremadamente rápidas. Los mayores valores de productividad se encontraron en el periodo de aguas bajas, al igual que las mayores densidades de peces y biomasa algal. Este hallazgo apoya la hipótesis del modelo de productividad ribereña (Thorp y Delong 1994, 2002) que soporta la idea de que la productividad autóctona en las zonas litorales de los ríos es importante, al proveer la materia orgánica necesaria para sostener la producción secundaria del sistema.

El efecto del pulso de inundación sobre la dinámica estacional de las poblaciones y comunidades de peces en los ríos de los llanos de Apure ha recibido especial atención, siendo este grupo de organismos uno de los mejor estudiados en la región. Las investigaciones sobre la ecología de peces en el Caño Guaritico y sus humedales por varios años son un ejemplo de esto. Lasso et al. (1995) muestran que las variaciones temporales en el uso de hábitats, diversidad de la dieta y períodos reproductivos para la diversa comunidad de bagres del Caño Guaritico y los humedales de Hato El Frío, dependen del ciclo hidrológico anual que media, tanto el acceso a los recursos, como la conectividad lateral que existe entre los cuerpos de agua. En otro estudio en el mismo sistema, Lasso-Alcalá et al. (1998) muestra la variabilidad estacional en alimentación y parámetros poblacionales y reproductivos para la curvinata, *Plagioscion squamosissimus*. De igual forma, Señaris y Lasso (1993),

contribuyen al estudio de la mojarra de río (*Caquetia kraussii*) en los humedales de Guaritico, encontrando que esta especie introducida en la cuenca del Orinoco, presenta parámetros poblacionales que la hacen una especie potencialmente peligrosa debido a los efectos que pudiera producir en la ictiofauna nativa de los llanos.

En la parte baja de los ríos Apure y Arauca, Barbarino (2005) estudió las poblaciones de bagres rayados (*Pseudoplatystoma orinocoense* y *P. metaense*) mostrando cómo las mismas hacen uso de la planicie inundable y cómo varían aspectos de su biología reproductiva a lo largo del ciclo hidrológico de inundación y desecación. Estas especies, que constituyen el segundo rubro pesquero más importante del estado, después del coporo (*Prochilodus mariae*), usan las partes bajas de los ríos Apure y Arauca como sitios de crecimiento y refugio de los juveniles. La reproducción por su parte se da en los tramos medios de los afluentes del noroeste del Apure entre los meses de mayo a julio, tal y como fue observado por Reid (1983) y posteriormente por Pérez et al. (2012).

Por otro lado, las migraciones del coporo, descritas por Barbarino et al. (1998) en la cuenca del Apure, los movimientos del bocachico (*Semaprochilodus kneri*) que, como subsidio trófico, se desplaza estacionalmente entre el Orinoco y el Cinaruco (Winemiller y Jepsen 1998, 2004) y las notas de Novoa (2002) sobre aspectos migratorios de algunas especies comerciales del eje Orinoco-Apure dan información sobre este importante fenómeno. Las migraciones de peces en los llanos de Apure, que son de vital importancia para que muchas especies puedan completar su ciclo de vida (Novoa 2002, Machado-Allison 2005) y que son fundamentales para entender la relevancia de los regímenes hidrológicos naturales y de la conectividad entre ecosistemas en grandes ríos con planicies inundables (Winemiller y Jepsen 2004, Rodríguez et al. 2007), se han estudiado relativamente poco y para contadas especies, y merecen una mayor atención a través de investigaciones sistemáticas y a más largo plazo.

Por otro lado, la realización de una serie de estudios con componentes experimentales en algunos ríos de Apure ha permitido dilucidar aspectos fundamentales para el entendimiento del funcionamiento de estos sistemas inundables en diferentes épocas del ciclo hidrológico. Usando cercados (jaulas) de exclusión de peces, Winemiller et al. (2006) demostraron el efecto de los peces bentívoros sobre el contenido de materia orgánica y la biomasa algal bentónica (biomasa de las algas sobre sustratos). Durante aguas bajas, los tratamientos con cercados que excluían a los peces grandes (especialmente al

bocachico), acumularon significativamente más sedimentos, materia orgánica y biomasa algal que los tratamientos control, mientras que durante aguas en descenso y aguas en ascenso no se observaron diferencias significativas entre los cercados y las áreas abiertas. Estos resultados concuerdan con la variación estacional en la presión por consumo (efecto *top-down*) sobre el sustrato (algas y sedimentos orgánicos) y que es función de la variación en las densidades de peces bentívoros. Los bocachicos son peces migratorios que durante aguas bajas se encuentran en el Cinaruco pero una vez entrado el período de lluvias migran al Orinoco para reproducirse. La ausencia de estos peces *ingenieros de ecosistemas* y el aumento del espacio disponible para los peces residentes, debido a la expansión de los espacios acuáticos por la inundación, modulan la dinámica de estos sistemas litorales del Cinaruco. Posteriormente, en una continuación de este estudio, Winemiller et al. (2014) exploraron los efectos de los peces bentívoros sobre la materia orgánica, meiofauna (invertebrados que viven intersticialmente entre los granos de arena y que miden entre 63 y 500 µm), biomasa algal y algas bentónicas durante las diferentes épocas del ciclo hidrológico anual. En este estudio encontraron que los peces controlaron la biomasa algal y la materia orgánica sobre sustratos sólidos pero no sobre arena durante aguas bajas y aguas en descenso.

Con respecto a la meiofauna y la composición de las comunidades de algas bentónicas, no hubo efecto de los peces sobre éstas, a excepción de la composición de las diatomeas. En este mismo estudio, en un ensayo de exclusión de la meiofauna de los sedimentos se encontró un incremento en la acumulación de materia orgánica, mostrando el efecto de estos diminutos organismos sobre los recursos durante aguas bajas. Estos resultados muestran interacciones importantes entre peces y meiofauna por los recursos y que los efectos que los peces y la meiofauna ejercen sobre la abundancia de los recursos basales del sistema son graduales a lo largo del ciclo hidrológico anual.

Los llanos de Apure como un mosaico dinámico de tipos de aguas: Un aspecto ineludible al estudiar grandes ríos inundables es que su abordaje no puede hacerse separadamente de su planicie, es decir, el estudio de patrones y procesos ecológicos no ocurren discretamente en los cauces de los ríos de manera independiente de los que ocurren en su planicie, tal como lo describe el concepto del pulso de inundación (Junk et al. 1989, Junk y Wantzen 2004). Comprender esto, así como entender la heterogeneidad de ecosistemas y hábitats embebidos en la franja inundable y sus interrelaciones, es uno de los retos de la ecología

de planicies inundables en ríos tropicales. En este sentido, al visualizar la red fluvial de los llanos de Apure, se reconoce la presencia de dos grandes grupos de ríos: los que nacen en los Andes y los que tienen su origen en las sabanas. La disposición geográfica de drenaje de las principales cuencas de los ríos apureños, nos permite observar que los cauces principales de estas discurren paralelos de oeste a este, y que de norte a sur se ubican de manera intercalada, ríos de origen montano con otros de llanura. Así es como, atravesando la Ruta de Gallegos, vía que comunica a San Fernando con Puerto Páez, se comienza con el Apure y Arauca (origen andino), luego Capanaparo y Cinaruco (origen llanero) para finalizar en el Meta (origen andino). En las partes bajas de estos ríos, la divisoria de cuencas entre ellos es muy difusa debido a la topografía plana de la parte oriental del estado, en donde desembocan en el Orinoco todos estos ríos. Aunado a esto, la intrincada red de cauces anastomosados o meándricos de los ríos, así como la compleja heterogeneidad geomorfológica en la planicie de cada uno de estos, manifestada por la presencia de diferentes tipos de lagunas de inundación, caños, morichales, pozos, y diversos humedales, nos permite tener un paisaje fluvial único y muy diverso.

El origen, montano o llanero, de los ríos de Apure es un factor fundamental para entender la clasificación de sus aguas en blancas, claras o negras. Esta clasificación, basada originalmente para ríos de la cuenca amazónica (Sioli 1975), permite identificar estos tres tipos de agua usando características ópticas como su coloración y turbiedad. Así tenemos que las aguas blancas, de ríos provenientes de los Andes, son turbias, de color marrón claro u oscuro, con alto contenido de sólidos en suspensión, con baja transparencia, alto contenido de iones y de ligeramente ácidas a neutras y alcalinas. Las aguas negras, de caños y morichales que nacen en la sabana, tienen poca turbiedad, son ácidas, tienen pocos nutrientes, muy baja conductividad y con una coloración rojiza oscura como el color del té, tonalidad dada por la alta cantidad de ácidos orgánicos disueltos. Las aguas claras, por su parte, que provienen de ríos de origen llanero, son transparentes a verdosas, de ácidas a alcalinas, con baja concentración de sólidos suspendidos y con conductividades intermedias entre aguas blancas y negras.

El muestreo de 16 ríos del estado (Figura 1) realizado en el período de aguas bajas de 2015 permitió observar esta diversidad de tipos de aguas (Figura 4, Tabla 1). Como era de esperarse para muestreos en la zona litoral de los ríos, los valores de temperatura son altos (entre 27,8 y 30,6 °C) al igual

que los de oxígeno disuelto, los cuales estuvieron cercanos a la saturación en muchos casos. El río Meta en Puerto Páez presentó las concentraciones más altas de ST (494,5 mg/l) y SST (392,2 mg/l), seguido por el río Sarare en Guasdualito (287,4 para ST y 160,9 mg/l para SST) y las estaciones de los ríos Apure (valores entre 259,5 y 175,3 mg/l para ST y de 185,5 y 74,8 mg/l para SST) y Arauca (entre 249,4 y 165,8 mg/l para ST y 161,9 y 114,5 mg/l para SST). Por otro lado, los ríos Capanaparo, Cinaruco, Caño La Pica y San Felipe presentaron los valores más bajos (entre 63,7 y 31,2 mg/l para ST y de 31,6 y 2,7 mg/l para SST). Los ríos Cunaviche, Matiyure y Caño Guaritico presentaron valores intermedios. Estas variables permiten separar a los ríos que provienen de los Andes, con alta carga de sedimentos, de los ríos que se originan en las sabanas, con menores concentraciones.

Adicionalmente, las concentraciones de nutrientes muestran mayores valores en los ríos de origen andino que en aquellos que nacen en la sabana, aunque hay excepciones, como los ríos San Felipe y Cunaviche que muestran enriquecimiento. Esto probablemente se deba a la actividad ganadera que existe en sus alrededores, cuyos efectos pueden ser más intensos debido al menor tamaño de los ríos. De hecho, estos ríos presentaron un color verdoso y olor característico de crecimiento algal que fue corroborado con los altos valores de clorofila- a en la columna de agua y en los sedimentos. Los valores encontrados en este estudio coinciden con lo reportado previamente por Saunders y Lewis (1988a, 1989), Lewis et al. (1995) y Mora et al. (2010) para el Apure y por Montoya et al. (2006) y Roelke et al. (2006) para el Cinaruco durante el periodo de aguas bajas.

El análisis de ordenamiento (Figura 5) permitió agrupar los ríos en conjuntos discretos dependiendo de sus características hidroquímicas. En el análisis de componentes principales, el primer componente explica el 38% de la varianza y el segundo el 22%, sumando un 60% de la varianza acumulada entre los dos primeros. Un gran grupo, ubicado en la parte central e izquierda del diagrama de ordenación agrupa a las estaciones del río Arauca hacia el centro y un poco más hacia la izquierda las del Apure y Meta, siendo el río Sarare (afluente del Apure) el más separado, con los valores más altos de conductividad

y alcalinidad. Adicionalmente, todas estas localidades comparten valores altos y moderados de SST y nitratos. Las demás localidades, todas de ríos que se originan en la sabana, se agruparon hacia el extremo derecho, inferior (San Felipe y Cunaviche) y superior (Matiyure, Guaritico, Capanaparo, La Pica y Cinaruco) del diagrama. Todos estos sitios comparten bajos valores de SST, conductividad y alcalinidad. El río San Felipe y Cunaviche se agruparon con base en su alto contenido de nutrientes. Por su lado, los ríos Capanaparo, La Pica y Cinaruco, los más pobres en nutrientes, SST e iones inorgánicos (conductividad de hasta 4,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y SST de 2,7 mg/l para Caño La Pica) forman otro subgrupo que se separa levemente de los ríos Matiyure y Guaritico, que son las localidades con los valores más altos de silicatos. De esta manera los ríos Meta y las localidades de Apure y Arauca corresponden a aguas blancas. Por otra parte, el resto de las localidades pueden ser caracterizadas como de aguas claras, a excepción del Caño La Pica, que por sus características de color de agua se clasificará como de aguas negras, aunque es importante tener en cuenta que esta clasificación estaría más completa si se hubiesen realizado otros análisis como carbono orgánico disuelto, color y cationes mayoritarios. Adicionalmente, es posible que algunos de estos ríos puedan ser clasificados como de aguas negras en otros momentos, tal como se ha observado para el río Cinaruco que tiene una dualidad de aguas claras y negras según la época del año (Montoya, obs. pers.), considerando que esta variabilidad es propia de los cambios estacionales en la hidroquímica del agua, situación que se ha reportado para otros sistemas de la cuenca del Orinoco anteriormente (Lasso 2014).

Una inmensa biodiversidad fluvial más allá de las plantas, peces, reptiles, aves y mamíferos: Al hablar de biodiversidad acuática en los llanos de Apure se piensa en bosques de galería, borales, morichales, garzas, caimanes, galápagos, bagres, caribes, chigüires y toninas. Los ríos apureños son sitios de una alta riqueza de especies tal como se puede evidenciar en los inventarios de fauna y flora acuáticas que se han realizado. Sin embargo no son uniformes, ni por grupos ni por regiones. Mientras que los peces han bien sido estudiados, otros grupos han recibido

Figura 4. Página siguiente. Imágenes del estado Apure: (a) río Apure a pocos kilómetros de la desembocadura en el río Orinoco, febrero 2014; (b) caño La Pica, tributario de aguas negras del río Capanaparo, marzo 2015; (c) puesto de venta de pescado en el sector Las Cabañitas de San Fernando de Apure, marzo 2015; (d) puente sobre el río Matiyure en Achaguas, febrero 2015; (e) retroexcavadora y camiones extrayendo arena en playa El Zamuro sobre el río Arauca en Elorza, febrero 2015; (f) caimán del Orinoco (*Crocodylus intermedius*) en Hato El Frío, sistema del caño Guaritico, febrero 2015; (g) río Cinaruco en playa Hojero, enero 2014. Créditos fotografías: a, b y g: J. V. Montoya; c, d y f: A. Osío; e: V. Pineda.



Tabla 1: Variables físico-químicas en la zona litoral de grandes ríos del estado Apure medidas en el periodo de aguas bajas (febrero y marzo de 2015). ST: Sólidos totales, SST: Sólidos suspendidos totales, SSV: Sólidos suspendidos volátiles, FRS: Fósforo reactivo soluble, FT: Fósforo total, Chl- α : Clorofila- α , MOT: Materia orgánica total. (-) no determinado. (1) ($\mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$), (2) ($\mu\text{g NO}_2\text{-N/l}$), (3) ($\mu\text{g NO}_3\text{-N/l}$).

Río@Localidad	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/l)	pH	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	ST (mg/l)	SST (mg/l)	SSV (mg/l)
Sarare@Guasdualito	30,0	8,13	7,43	177,6	287,4	160,9	8,1
Apure@Bruzual	28,4	7,52	7,19	120,5	259,5	185,5	8,7
Apure@La Clemencia	30,5	7,74	7,61	117,0	229,7	82,1	7,5
Apure@San Fernando	30,6	8,38	7,22	176,6	175,3	74,8	6,4
Matiyure@Achaguas	28,8	6,49	6,71	90,5	121,5	30,7	7,9
Guaritico@El Frío	28,8	6,89	6,67	89,3	122,8	41,6	9,7
Arauca@El Amparo	28,2	7,43	6,84	82,5	165,8	119,3	7,2
Arauca@Elorza	29,1	7,40	6,93	76,5	248,1	161,9	5,3
Arauca@El Yagual	30,3	7,40	6,93	70,2	249,4	114,5	6,9
Arauca@Paso Arauca	30,0	7,41	7,05	71,9	215,7	136,0	9,5
San Felipe@Puente	30,3	8,58	5,64	8,4	62,5	31,6	7,7
Cunaviche@San Miguel	28,9	6,21	6,05	36,3	114,9	54,1	8,7
Capanaparo@Macanilla	28,9	7,94	6,92	55,0	63,7	12,3	2,6
La Pica@Puente	30,4	7,67	5,28	4,6	31,2	2,7	1,5
Cinaruco@Playa4	30,2	7,73	5,60	7,8	58,2	9,4	2,4
Meta@Puerto Páez	27,8	7,54	7,20	113,1	494,5	392,2	11,3

mucho menos atención (Lasso et al. 2010). Vale la pena mencionar que las iniciativas privadas de algunos hatos en la región de mantener programas conservacionistas han permitido el mantenimiento de poblaciones importantes de fauna llanera y de ecosistemas propios del llano apureño (Lares-Bolívar 2007, Infante 2008). Esto es especialmente importante para varias especies de fauna que tienen estatus de amenazadas, como el caimán del Orinoco (*Crocodylus intermedius*) (Figura 4f), el manatí (*Trichechus manatus*), nutrias (*Pteronura brasiliensis*) y la tortuga arrau (*Podocnemis expansa*), entre otras (Rodríguez et al. 2015).

Con respecto a los peces, se tiene que la subcuencas del Apure y el Meta están entre las más diversas del Orinoco, con 390 y 378 especies de peces, respectivamente (Lasso et al. 2004). Las cuencas de los ríos Cinaruco, Capanaparo y Arauca no alcanzan estos números pero también presentan alta riqueza. Los levantamientos de inventarios de fauna íctica en el Apure son importantes. El trabajo de Taphorn (1992) sobre peces Characiformes del Apure provee información detallada sobre este grupo en uno de los inventarios más extensivos realizados en la región. Los estudios ecológicos a largo plazo en Hato El Frío (sistema inundable del Caño Guaritico) y el río

Cinaruco han permitido tener listas de especies más detalladas para estos sitios. Un diagnóstico más reciente del estatus de conocimiento de la biodiversidad de diferentes grupos de plantas y fauna en la cuenca del Orinoco fue publicado por Lasso et al. (2010), en donde además de cuantificar el número de especies conocidas, endémicas y amenazadas para las diferentes regiones de la cuenca (incluyendo las cuencas de los ríos que drenan los llanos de Apure), identificaron esfuerzos de muestreo, vacíos de información y áreas prioritarias para la conservación.

En ese trabajo se identificó a las sabanas inundables del río Apure y a los humedales del río Arauca como áreas prioritarias para la conservación, incluyendo toda la anastomosis asociada. Vale la pena mencionar que entre los ríos Cinaruco y Capanaparo la fauna y flora tiene elementos tanto llaneros como amazónico-guayanenses, vistos tanto en los bosques de galería (Aymard y González 2007), como en peces y crustáceos decápodos (Montoya et al. 2014). Aparte de la fauna de vertebrados y las plantas vasculares, el estudio de invertebrados y algas ha sido abordado con mucha menor intensidad y en menor número de localidades. Los estudios sobre plancton en el río Apure realizados por Saunders y Lewis (1988b) y Lewis et al. (1990) pueden ser considerados como los

Tabla 1. Continuación. Variables físico-químicas en la zona litoral de grandes ríos del estado Apure medidas en el periodo de aguas bajas (febrero y marzo de 2015). ST: Sólidos totales, SST: Sólidos suspendidos totales, SSV: Sólidos suspendidos volátiles, FRS: Fósforo reactivo soluble, FT: Fósforo total, Chl-*a*: Clorofila-*a*, MOT: Materia orgánica total. (-) no determinado. (1) ($\mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$), (2) ($\mu\text{g NO}_2\text{-N/l}$), (3) ($\mu\text{g NO}_3\text{-N/l}$).

Río@Localidad	Alcalinidad ($\mu\text{eq./l}$)	Silicatos (mg Si/l)	FRS (1)	FT ($\mu\text{g P/l}$)	Nitritos (2)	Nitratos (3)	Chl- <i>a</i> agua ($\mu\text{g/l}$)	Chl- <i>a</i> sedim. (mg/m ²)	MOT sedim. (%)
Sarare@Guasdualito	1.218	3,6	18,1	39,0	0,9	323,3	12,5	1,0	0,48
Apure@Bruzual	843	4,3	41,8	239,4	1,8	131,3	10,9	4,1	1,03
Apure@La Clemencia	817	4,6	41,8	152,2	2,3	156,9	18,9	19,3	3,44
Apure@San Fernando	1.211	4,4	67,0	86,8	1,6	102,6	9,1	6,0	1,30
Matiyure@Achaguas	739	6,1	12,8	71,7	3,9	33,7	25,5	1,6	0,25
Guaritico@El Frío	765	6,5	29,6	64,2	0,9	42,5	50,1	1,5	0,51
Arauca@El Amparo	468	3,2	49,5	158,9	1,5	85,3	9,1	3,8	1,45
Arauca@Elorza	382	3,0	14,3	134,6	0,9	126,4	6,4	2,4	1,42
Arauca@El Yagual	270	2,8	21,2	96,0	6,0	106,9	10,9	2,6	0,73
Arauca@Paso Arauca	285	2,9	15,9	145,5	2,7	110,2	7,8	2,0	0,79
San Felipe@Puente	-	1,7	99,9	-	3,3	40,1	26,3	34,9	0,82
Cunaviche@San Miguel	132	2,2	48,7	155,6	19,2	218,1	34,9	17,6	0,53
Capanaparo@Macanilla	358	5,0	22,7	57,5	1,6	44,7	8,4	3,4	0,19
La Pica@Puente	-	4,4	4,4	132,9	0,9	42,5	4,9	0,8	0,23
Cinaruco@Playa4	-	6,5	18,1	23,1	0,9	39,6	6,2	4,1	0,18
Meta@Puerto Páez	449	3,0	5,2	127,9	0,9	45,4	20,5	1,0	0,81

únicos de la región (aunque hay algunos más en humedales pero no son considerados aquí). Estos trabajos presentan una riqueza importante de fitoplancton y zooplancton en una estación cercana a la confluencia del Apure en el Orinoco durante un ciclo hidrológico anual, y en algunas estaciones más en el cauce del río Apure y tributarios durante el ascenso de aguas. Con respecto a macroinvertebrados acuáticos, aparte de los inventarios y trabajos de índole taxonómico que se han realizado en la región (por ejemplo García 2008, y Montoya et al. 2013 entre otros) los estudios ecológicos son muy escasos. Montoya et al. (2014) estudiaron a los camarones de las playas de arena del río Cinaruco en un tramo de 8 km y encontraron un conjunto de especies poco comunes en la cuenca del Orinoco y que alcanzó una alta riqueza (9 spp.), siendo algunas de ellas muestreadas solo durante la noche y otras que usan hábitats crípticos que hacen difícil su captura. Por otro lado, la riqueza de especies de algas bentónicas y meiofauna reportada para playas de arena en el río Cinaruco es alta, alcanzando más de 200 taxa de organismos de meiofauna y otros tantos de algas (Winemiller et al. 2014). Considerando que algunos grupos de meiofauna y algas fueron trabajados taxonómicamente en más detalle que otros y que sólo se evaluó un hábitat

(playas de arena) cabe esperar que la riqueza aumente considerablemente al abarcar más sustratos y al ahondar en la identificación de los grupos no trabajados. Otros estudios sobre meiofauna y algas bentónicas en grandes ríos de la cuenca del Orinoco son inexistentes o al menos escapan del alcance de los autores. Creemos que existe una gran diversidad biológica desconocida en estos hábitats poco explorados y grupos de organismos poco conocidos que esperan ser investigados.

Considerando las ventajas que tiene la meiofauna como indicadores biológicos de contaminación y otros impactos antropogénicos (Giere 2009), se cree estratégico el desarrollo de índices bióticos usando estos organismos para los grandes ríos del Orinoco, incluyendo los ríos de Apure, sobre los cuales está previsto un desarrollo a gran escala si se llegase a ejecutar el plan del eje Orinoco-Apure, y la explotación del Arco Minero del Orinoco el cual comprende una extensión de 111.843 km (11% del territorio nacional).

PAISAJE BIOCULTURAL RIBEREÑO

Asentamientos humanos en torno a los ríos: Para una comprensión integral de las dinámicas de los ecosistemas fluviales es necesario profundizar en su

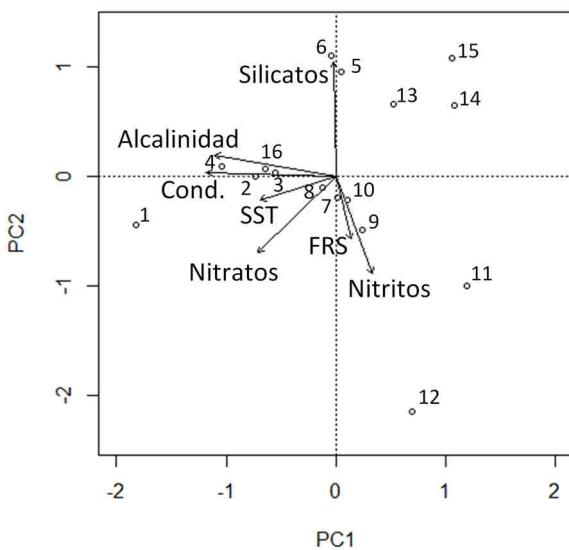


Figura 5. Ordenación (Análisis de Componentes Principales, ACP) de los ríos estudiados durante aguas bajas de 2015 con base en variables físico-químicas del agua de la zona litoral de las localidades de muestreo. Las localidades se muestran con números: 1) río Sarare en Guasdualito, 2) río Apure en Bruzual, 3) río Apure en La Clemencia, 4) río Apure en San Fernando, 5) río Matiyure en Achaguas, 6) caño Guaritico en Hato El Frío, 7) río Arauca en El Amparo, 8) río Arauca en Elorza, 9) río Arauca en El Yagual, 10) río Arauca en Paso Arauca, 11) río San Felipe en Puente, 12) río Cunaviche en San Miguel de Cunaviche, 13) río Capanaparo en La Macanilla, 14) caño La Pica en Puente, 15) río Cinaruco en Playa 4, 16) río Meta en Puerto Páez. FRS: Fósforo reactivo soluble, MOT: Materia orgánica total en sedimentos, SST: Sólidos suspendidos totales, SSV: Sólidos suspendidos volátiles.

dimensión histórica/temporal de poblamiento. En este apartado nos proponemos ofrecer una panorámica de cómo el proceso de ocupación histórica del actual estado Apure ha obedecido a una lógica de limitaciones y potencialidades impuestas por el paisaje biofísico y a una intrincada relación hombre-naturaleza. No existen en la literatura estudios que daten de forma precisa el período de poblamiento indígena de la región que hoy se corresponde con el estado Apure. Sin embargo, Gassón (2002) señala que en el año 1971, Alberta Zucchi reportó un complejo cerámico que data de hace aproximadamente 550 años en la confluencia de los ríos Clarito y Capanaparo. Por su parte, Spencer y Redmond (1998), a través de estudios arqueológicos de calzadas, sugirieron que antes del contacto el área de nuestro interés estuvo ocupada por grupos humanos con organizaciones sociopolíticas complejas. El poblamiento criollo se inició a mediados del siglo XVII. Una de las primeras

colonizaciones se asentó en torno a las márgenes del río Apure con una lógica predominante de tipo portuario. La navegabilidad del río Apure hasta la región de Guayana a través de su conexión con el río Orinoco fomentó el surgimiento de puertos tales como Puerto de Nutrias, conformado tempranamente como villa portuaria en 1651 (Infante 2008). Durante el siglo XVIII las sabanas de los llanos altos apureños atrajeron corrientes de colonización con el avance de los hatos como unidades de producción, aisladas entre sí y de núcleos de población criolla dispersos y separados por grandes distancias. En 1788 se fundó la villa de San Fernando de Apure, como puerto que conectaba los tráficos provenientes desde Barinas, Guárico y Guayana (Infante 2008). Añade Calderón-Trejo (1998) que para los Llanos de Venezuela, luego de consolidarse la figura del hato, los trabajadores de las rancherías comenzaron a establecerse en los predios cercanos. Estos agrupamientos tempranos son los que luego de arraigarse, han dado paso al establecimiento de pueblos y ciudades. Infante (2008) narra que para este siglo, uno de los primeros poblamientos proveniente de las tierras altas tachirenses conformó el poblado de Guasdualito. Este poblado es mencionado en 1770 como sitio desde donde se movilizaba el ganado apureño hacia la depresión tachirense. En este sentido, el hato se constituye como una forma de posesión de la tierra que determina tanto las corrientes de poblamiento criollo durante el período colonial como los arreglos socioespaciales generados.

Según Cunill-Grau (1987), durante el siglo XIX fueron tres los factores que determinaron la organización socioespacial (densidad poblacional y grado de aislamiento): a) la actividad pecuaria caracterizada por la explotación ganadera extensiva acaparada por pocos hatos de gran superficie; b) las epidemias que azotaron la región y c) la presencia de ríos y caños de difícil acceso, de grandes extensiones y caudales y una fauna acuática (caimanes, rayas y tembladores) que representaba peligro para los pobladores locales. Añade el autor que el sistema del río Apure, en este período se constituyó en la vía fluvial que posibilitó la organización de gran parte del poblamiento de la región. En San Fernando de Apure se consolida el núcleo básico de la organización espacial, operando como un enclave portuario. En la actualidad, la distribución socioespacial del estado, es la impronta en el territorio de estos factores a los que alude Cunill Grau. El sistema de centros poblados urbanos y rurales del estado posee un patrón de distribución concentrado en la franja norte, entre los ríos Apure y Arauca, asociado este emplazamiento directamente a las características geográficas y ambientales de mayor altitud y mejores clases de tierras, ubicadas al norte del

río Arauca. La subregión de San Fernando, ubicada en la región nororiental del estado, forma parte de los espacios naturales surcados entre los ríos Apure y Arauca, cuyas cuencas abarcan los suelos más productivos (Infante 2008). El municipio San Fernando se consolida como el núcleo con mayor dinámica de crecimiento urbano concentrando el 36,0% del total de 459.025 habitantes (INE 2011). La ciudad de San Fernando se vincula con asentamientos humanos que giran en torno a su condición de capital estadal, conectadas a través de una red de carreteras principales y secundarias, así como de la comunicación fluvial (Valero-Martínez 2008). El resto de la población permanece bajo un modelo de ocupación rural y dispersa, producto de las actividades agropecuarias y del sistema de comunicación inicialmente fluvial (Infante 2008).

Con relación a las comunidades indígenas del estado (Hiwi y Pumé), están ubicadas en todos los municipios del estado a excepción del municipio San Fernando, en los bosques de galería en los márgenes de los ríos Apure, Arauca, Cunaviche, Cinaruco, Capanaparo, Rieci y Meta y en las sabanas interfluviales entre estos ríos (Buroz 2003; Romero 2015, Infante 2008). Se contabilizan un total de 11.559 indígenas en el estado (INE 2014). La mayoría de los Hiwi del estado Apure son cultivadores sedentarios ubicados en los bosques de galería de la planicie eólica, a lo largo de los ríos Capanaparo, Cinaruco y Meta (Metzger y Morey 1983, Infante 2008). Por su parte los Pumé han sido descritos como seminómadas estableciéndose en los bosques de galería en períodos de sequía y en zonas más altas y poco inundables en el período lluvioso (Mitrani 1988, Saturno 2014). Mitrani (1988) los agrupa en cuatro subdivisiones: 1) Arauca-Cunaviche en el norte del estado Apure; 2) Capanaparo-Rieci en el centro; 3) Cinaruco y Brazo Cinaruco en el sur; y 4) las sabanas interfluviales comprendidas entre los cursos del río Capanaparo y del río Cinaruco.

Sin embargo, la fragmentación del territorio con la consolidación del hato, la avanzada ganadera y la presión sobre los recursos en el estado, han generado la afectación de estos patrones (Buroz 2003). Ya desde inicios del siglo XX existen reportes acerca de los desplazamientos de grupos indígenas por el territorio del estado Apure. Esta alta movilidad ha tenido sus causas, no precisamente en los patrones seminómadas de subsistencia, por el contrario, los grupos indígenas se han visto forzados a asentarse en aquellas zonas remanentes que no han sido pobladas por los criollos. Mitrani (1988) refiere que a comienzos de siglo gran parte de los Pumé vivían probablemente al sur del Capanaparo y, posiblemente, en zonas vecinas al río

Meta. El autor atribuye este desplazamiento desde el sur hacia el norte, a la fundación de nuevas haciendas y a la consecuente necesidad de disponer de mano de obra. Este fenómeno de reubicación, continúa manifestándose durante el siglo XX, tal como lo reporta Ramia (1962) sobre el desplazamiento de algunos Pumé hacia Guachara, al norte del estado. Por su parte, Amadio (2008) reporta que el incremento de los contactos de los Hiwi con el mundo no indígena a causa de invasiones criollas ha ocasionado desplazamientos territoriales y aumentos en la periambulación estacional de grupos familiares por diferentes estados venezolanos. Estos desplazamientos dan cuenta de cómo la aparición de formas de propiedad privada tales como los hatos y las haciendas son en la actualidad, las principales responsables de la fragmentación del territorio indígena. En síntesis, la configuración actual del paisaje de los llanos de Apure responde a un proceso histórico de ocupación caracterizado por la fragmentación del paisaje debido a la topología de la red de drenaje fluvial, altamente dinámica. Aunado a ello, posteriormente la aparición de los hatos y la creación de carreteras impusieron nuevos límites.

Pesquerías: La pesquería en los llanos de Apure es de índole artesanal, registrándose un valor de producción pesquera promedio de 11.307 toneladas (t) al año con un mínimo de 4.101 t (2005) y un máximo de 23.912 t (1995), según datos de INSOPESCA y Novoa (2002) para el período 1990-2014 (Figura 6). La producción de este estado representó en promedio el 28,5% del total de producción pesquera fluvial nacional para los años 1996-2013 (INSOPESCA), siendo considerada la más importante del país (Infante 2008). Esta pesquería es multiespecífica, comprende usualmente alrededor de 40 a 50 especies de peces comercializados, aunque gran parte de la captura corresponde principalmente a coporo (*Prochilodus mariae*) y bagres rayados (*Pseudoplatystoma* spp.). Ambos rubros aportaron en promedio un 63,6% del total de captura para el período 1990-2014, con un mínimo de 47,1% (2000) y un máximo de 81,6% (2012), según datos suministrados por INSOPESCA y Novoa (2002). Otras especies importantes en la pesca fluvial apureña son la palometa (*Mylossoma duriventre*), caribe (*Pygocentrus cariba*), curito (*Hoplosternum littorale*), bagre cajaro (*Phractocephalus hemiolopterus*) y guabina (*Hoplias malabaricus*).

La pesca se realiza principalmente entre los meses de octubre a marzo, es decir, durante los meses de “descenso de aguas” y “aguas bajas” y ocurre en el canal principal de los ríos (Novoa 2002). En la temporada de lluvias, cuando los ecosistemas acuáticos se expanden hacia las sabanas inundables, la pes-

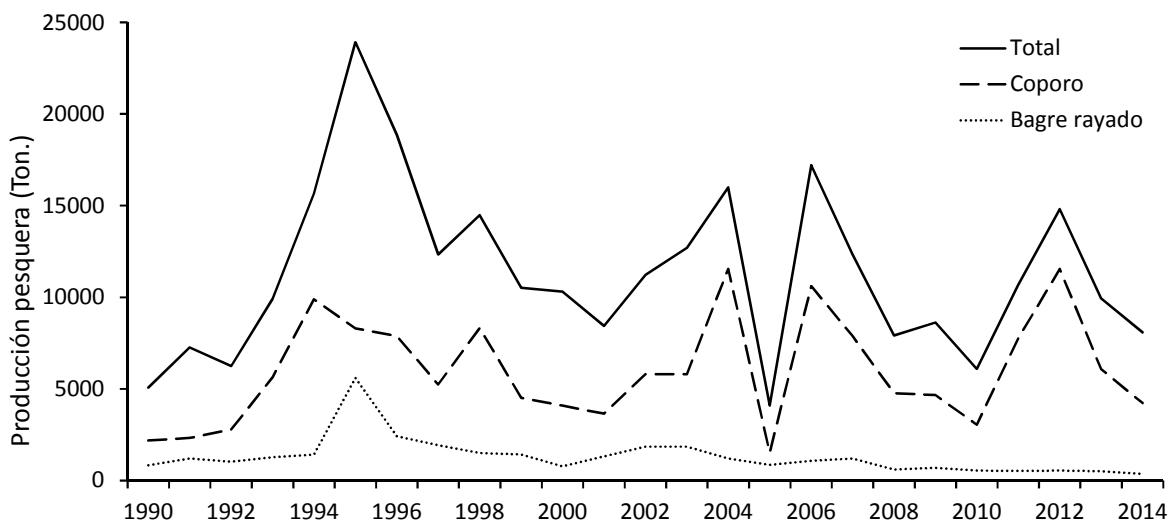


Figura 6. Producción pesquera del estado Apure durante 1990-2014. Producción pesquera fluvial total, de coporo (*Prochilodus mariae*) y de bagres rayados (*Pseudoplatystoma* spp.). Fuente: Realización propia con datos del Instituto Socialista de Pesca y Acuicultura (INSOPESCA) (años 1998-2014) y de Novoa (2002) (años 1990-1997).

ca se hace más difícil por la dispersión de los peces hacia las zonas inundadas y por lo general los pescadores se dedican a otras actividades como el trabajo en hatos, la albañilería y a la reparación de artes de pesca y embarcaciones para la siguiente temporada (Novoa 2002, Arocha y Miranda 2013), como fue constatado en las entrevistas realizadas a pescadores artesanales en Bruzual, Elorza y Guasdualito. Las principales zonas de pesca abarcan los cauces de los ríos Apure, Arauca y Meta, así como los ríos Payara, Apurito, Apure viejo y Ruende (Novoa 2002, Arocha y Miranda 2013). En cada uno de estos sectores existen caladeros conocidos por los pescadores por su alta productividad. Las artes de pesca empleadas por los pescadores del estado incluyen chinchorros, atarrayas, mallas de ahorque y mallas curiteras, palangres, cordeles, boyas, y otras de uso tradicional como arcos, flechas, arpón y anzuelos (Novoa 2002, Arocha y Miranda 2013).

La pesca en los ríos llaneros está asociada a la productividad de los ecosistemas fluviales. Ríos como el Apure y Arauca que son de aguas blancas, ricos en nutrientes, presentan pesquerías artesanales comerciales. Ríos de aguas negras y claras, de naturaleza más pobre como el Capanaparo y el Cinaruco, no sustentan niveles de producción pesquera a nivel comercial, sin embargo la pesca de subsistencia y la deportiva son importantes. Con respecto a este último punto, vale la pena mencionar que aunque en estos ríos no hay una pesquería comercial establecida, que por demás está prohibida por el artículo 7, parágrafo c de la Resolución 003 de INAPESCA, G. O. 37.472 del

26/06/2002, si se practica durante las “ribazones” (movimientos migratorios estacionales de los peces entre octubre y abril), especialmente durante el periodo de descenso de aguas en las desembocaduras de estos ríos en el Orinoco y están orientadas a la captura del bocachico (*Semaprochilodus kneri*), especie clave como subsidio trófico para grandes depredadores que, como los pavones (*Cichla* spp.) y payaras (*Hydrolycus armatus*), son importantes para la pesca deportiva en estos ríos oligotróficos (Winemiller y Jepsen 1998, Winemiller et al. 2006).

Las ribazones son de particular importancia en la cultura pesquera artesanal llanera. El desplazamiento de diferentes especies de peces por largas distancias, para dispersarse o para reproducirse, es esperado anualmente por los pescadores que obtienen los mayores rendimientos de captura durante estos episodios. Novoa (2002) y Arocha y Miranda (2013) describen que el paso de las ribazones por los ríos es lo que mueve a los pescadores, quienes siguiendo las migraciones de las diferentes especies que remontan los cauces, van cambiando las artes que utilizan según la especie a pescar. Las especies más importantes en las pesquerías del estado, el coporo (entre septiembre y diciembre) y los bagres rayados (entre enero y marzo), son los principales representantes en las ribazones en el río Apure (Arocha y Miranda 2013). Las ribazones conectan tróficamente tanto ecosistemas de productividad variable (caso de las migraciones del bocachico entre Orinoco y Cinaruco), como las partes bajas y altas de los ríos en cuencas de gran tamaño como el Apure, siendo las migraciones

del coporo entre las más importantes por el gran tamaño de sus cardúmenes (Barbarino et al. 1998).

La vida seminómada de los pescadores artesanales apureños, signada por las ribazones y en sincronía con el régimen hidrológico cíclico de los ríos, evoca un elemento identitario de los pueblos indígenas (Hiwi y Pumé) del estado: la estrecha relación naturaleza-hombre, especialmente en lo que concierne a cómo está modulada la pesca indígena con el régimen hidrológico anual. La razón de este comportamiento, al igual que para el pescador criollo, es explicada por la fuerte relación entre la abundancia y la estacionalidad. En temporada de lluvias, los peces remontan los ríos hacia los caños y las lagunas donde tienen más posibilidades de encontrar alimentos. Por el contrario, en temporada de sequía los peces se encuentran en los ríos y es allí donde se concentra la actividad pesquera indígena, la cual cobra la mayor importancia por el hecho de que es más fácil encontrar a los peces, menos dispersos que en el período de lluvias (Metzger y Morey 1983, Mitrani 1988).

Tanto los Hiwi como los Pumé, utilizan artes de pesca similares, claro está, reconociendo las diferencias en cuanto a organización social de la actividad y significado cultural de los elementos presentes en la misma. Las principales artes de pesca consisten en: flechas, barbasco, pesca con anzuelos, (Mitrani 1988, Metzger y Morey 1983, Saturno 2014) y en menor medida, la pesca con redes (Saturno 2014). Las dos últimas han sido señaladas en la literatura como introducidas por los criollos. La pesca con flechas, es una actividad que se realiza de manera individual en las riberas de los ríos o desde las curiaras. La técnica de pesca con barbasco también presenta similitudes entre los Hiwi y los Pumé. Esta arte de pesca es empleada principalmente en los caños por grupos coordinados durante la faena ya que requiere de cierto grado de cooperación. Los Pumé denominan barbasco a la raíz de un arbusto conocido localmente como “barbasco de raíz”, perteneciente a la especie *Cracca toxicaria* (Mitrani 1988) y a la especie *Tephrosia sinapou* (Saturno 2014). Una vez cerradas las entradas de un caño, las raíces del barbasco son trituradas en el agua ya que poseen propiedades narcóticas que son utilizadas para asfixiar a los peces y una vez que flotan en la superficie son atrapados con facilidad (Metzger y Morey 1983, Mitrani 1988). Según el artículo 39, parágrafo uno de la Ley de Pesca y Acuicultura vigente está prohibido usar barbasco con la excepción de la pesca indígena de subsistencia.

La importancia de los ríos entre los Hiwi se hace evidente en al menos dos aspectos de su cultura. Un primer aspecto tiene que ver con cómo definen su procedencia y se distinguen del “otro Hiwi”. Esta

distinción se fundamenta en la filiación fluvial, y en el caso de pertenecer al mismo río, entonces se distinguen de acuerdo al sector específico del río al que pertenecen (Morey 1969, Metzger y Morey 1983). Un segundo aspecto tiene que ver con la alimentación. La pesca proporciona una buena parte de las proteínas necesarias en la dieta y como actividad de subsistencia representa una buena opción para las bandas nómadas y aquellas que se van estableciendo y desarrollando sus conucos. Adicionalmente, es posible procesar el producto de la pesca para almacenarlo (ahumado, salado, en harinas) y garantizar fuente de proteína en la estación lluviosa (Metzger y Morey 1983). Con respecto a los Pumé de Boca Tronador y Banco Largo en las riberas de río Rieci (tributario del río Capanaparo), un claro ejemplo del profundo conocimiento que tienen de sus fuentes de agua se basa en la distinción que logran hacer del hábitat donde se encuentran los peces de mayor consumo: ríos, brazos o lagunas (Saturno 2014).

Con estos dos ejemplos hemos querido mostrar como “el río” conforma un elemento central del paisaje biocultural de los dos grupos predominantes del estado Apure, los Hiwi y los Pumé. Ambos grupos tienen estrategias de sincronización entre los tiempos de pesca y la estacionalidad de la región. Vemos como en el caso del pueblo Hiwi, su organización en bandas o subtribus está basada en el río de procedencia, podría pensarse entonces, que el río, y los peces que habitan en ellos, representan un elemento identitario para este grupo indígena. Con referencia a los Pumé, a pesar de las limitaciones de información, dado que la mayoría de los estudios están orientados a resaltar otros aspectos de su cultura, encontramos un profundo conocimiento de las especies acuáticas que habitan los ríos y afluentes de la región. Esta estrecha relación denota como estas “otras culturas”, desde hace larga data, han hecho uso de los ríos como fuentes de alimento y poseen un profundo conocimiento de la dinámica de los mismos.

Ordenamiento territorial en los llanos de Apure: El sistema de áreas bajo régimen de administración especial (ABRAE) de la región llanera del estado Apure está constituido por nueve áreas naturales que pueden ser agrupadas de acuerdo a las categorías propuestas por MARN (1999) como: a) tres áreas con fines estrictamente protectores, científicos, educacionales y recreativos (Parque Nacional Santos Luzardo (Cinaruco y Capanaparo), Refugio de Fauna Silvestre Caño Guaritico y Refugio de Fauna Silvestre de la Tortuga Arrau); b) un área con fines protectores mediante usos normados (Zona Protectora de La Tortuga Arrau) y c) cinco áreas con fines productores

y geoestratégicos que corresponden a cuatro áreas boscosas y una Zona de Seguridad Fronteriza del Estado Apure (ZSF) (Infante 2008). La superficie de estas áreas protegidas abarca un 16,62% (1.262.953 ha) del total del territorio del estado Apure. Dichas áreas han sido concebidas como estratégicas para la conservación de la diversidad biológica y el resguardo de los recursos hídricos para el uso doméstico, industrial, de riego con fines agrícolas y pecuarios y energéticos (INE 2014).

El paradigma de la conservación biológica sobre el que se sustentó la creación de estas áreas protegidas, todas creadas en la segunda mitad del siglo XX, se fundamenta únicamente en criterios preservacionistas, manteniendo una visión sesgada y fragmentada de los ecosistemas. En este sentido, Toledo (2005) señala que la conservación de la biodiversidad que plantea como objetivo único y central la creación de reservas, parques y otras áreas naturales protegidas, se constituye como una visión limitada, estrecha y, en el largo plazo, inoperante. Argumenta que este enfoque exclusivamente conservacionista reduce la problemática de la preservación de la variedad de la vida al mero aislamiento de porciones de naturaleza (e incluso de solamente conjuntos de especies) supuestamente prístina o intocada, sin considerar los condicionantes sociales, económicos, culturales y políticos que se relacionan con esos fragmentos aislados, y sin tomar en cuenta las diferentes escalas en que tal diversidad se expresa en el espacio.

Pérez et al. (2011) realizó un conjunto de sugerencias orientadas a la creación de áreas de protección especial y planes de manejo y ordenamiento de los recursos naturales del estado Apure basados en modelos ecosistémicos adaptativos y complejos que contemplen en su diseño el principio precautorio ante las múltiples posibilidades del comportamiento de dichos sistemas. Así, se plantea la necesidad de ordenar los recursos pesqueros reconociendo los esfuerzos por vencer las limitaciones existentes en relación al conocimiento del sistema y al factor de incertidumbre que se introduce con el cambio climático, además de reconocer la necesidad de elaborar y ejecutar planes de manejo en conjunto con la sociedad civil con miras a incrementar la capacidad de resiliencia de los grandes ríos del estado. Con relación a lo último, Montoya et al. (2011) enfatizan la importancia de abordar el estudio y manejo de los ecosistemas fluviales incorporando el conocimiento tradicional de pobladores criollos e indígenas.

Por otra parte, Montoya et al. (2011) plantean la necesidad de abordar estrategias de protección y conservación de los grandes ríos como unidades funcionales que incluyan sus planicies de inundación,

tal como lo plantea el modelo conceptual del “pulso de inundación” planteado por Junk et al. (1989) y Junk y Wantzen (2004). Este modelo sostiene que estos sistemas se caracterizan por una alta complejidad geomorfológica que conlleva a una alta heterogeneidad de hábitats, una elevada productividad biológica y una importante biodiversidad que se mantienen en el tiempo gracias a la acción de las inundaciones periódicas.

Un ejemplo de las limitaciones en los planes de ordenamiento del territorio en el estado Apure, lo constituye el Parque Nacional Santos Luzardo. Este parque, creado en el año 1988, se encuentra entre los ríos Cinaruco y Capanaparo con una superficie total de 584.368 ha. Dicho parque ha sido considerado como representativo de los ecosistemas llaneros (mádanos, morichales, sabanas, bosques de galería, caños y lagunas llaneras) y constituye refugio y albergue de la diversidad de fauna de la región (INE 2014). La delimitación del área que conforma a este parque abarca la vertiente sur de la cuenca del río Capanaparo y la vertiente norte de la cuenca del río Cinaruco, dejando excluidas las otras mitades de las respectivas cuencas hidrográficas. Esta delimitación artificial de las áreas de protección no contempla la noción del río como un continuo donde las perturbaciones en un sector tendrán un impacto diferencial en toda la cuenca, es por ello que se sugiere la delimitación de estas “unidades de conservación” siguiendo otros criterios tales como las cuencas hidrográficas y las fronteras naturales de las bioregiones (Taphorn y Barbarino 1993, Lasso et al. 2010). Este replanteamiento de las áreas bajo régimen de administración especial pudiera aumentar la efectividad en la conservación de especies de fauna asociadas a los ríos y sistemas de lagunas cuya persistencia en el tiempo se encuentre comprometida.

Un argumento adicional a tener en cuenta para una efectiva conservación de estas áreas es planteado por Caballero-Arias (2007) quien señala que muchas de estas ABRAEs se conformaron en territorios habitados por poblaciones indígenas ocasionando inconsistencias entre los objetivos de estas áreas protegidas y el uso tradicional que hacen los indígenas de las mismas. Por ejemplo, en las riberas de los ríos Cinaruco y Capanaparo habitan comunidades indígenas pertenecientes a los pueblos Pumé y Hiwi, y tales riberas están comprendidas dentro del área del Parque Nacional Santos Luzardo. Esta incompatibilidad se acentúa al crearse otras figuras de ordenamiento territorial que generan potenciales conflictos de tenencia de tierras. Nos referimos a la Ley de Demarcación y Garantía del Hábitat y Tierra de los Pueblos Indígenas creada en el año 2001 (G. O.

37.118 del 12/01/2001) y la posterior creación de la Comisión Nacional de Demarcación del Hábitat y Tierras de los Pueblos y Comunidades Indígenas. Esta comisión sustentada en la Constitución Nacional y en la Ley de Demarcación funge como el organismo encargado de diseñar planes de acción y políticas destinadas a la ejecución de los procesos de demarcación en las comunidades y pueblos indígenas. A partir de allí se ha iniciado un proceso de negociación entre el gobierno nacional y los indígenas, con la finalidad de solicitar el cumplimiento de los derechos por la demarcación y la propiedad colectiva de la tierra. Se hace necesario generar mecanismos que garanticen la articulación entre estas figuras de ordenamiento territorial evitando situaciones que atentan contra los modos de subsistencia de las comunidades indígenas de la región.

De esta breve revisión de los planteamientos de ordenamiento territorial de Apure emerge un aspecto fundamental a tener en cuenta en la aplicación de planes, políticas y proyectos que reglamentan el uso de las cuencas de los principales tributarios del estado. Este radica en la necesidad de establecer herramientas efectivas que compatibilicen y articulen las políticas públicas de la región. En este sentido, es de esperar que una Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) podría arrojar incompatibilidades, potencialidades, tensiones y nudos críticos, realizando consideraciones económicas, sociales, culturales y ambientales, entre las distintas figuras de ordenamiento territorial, así como los programas y proyectos ejecutados en la zona.

RIESGOS Y AMENAZAS

En los ríos de los llanos de Apure se pueden distinguir una serie de riesgos y amenazas que tienen efectos importantes sobre la estructura y el funcionamiento de estos ecosistemas, así como en su capacidad de proveer bienes y servicios a la población. Con base en la documentación recopilada, la experiencia y el conocimiento de la región, y los testimonios orales levantados en campo se puede mencionar que los riesgos más importantes son: la regulación de los régimen hidrológicos y los cauces, la sobreexplotación pesquera, la contaminación del agua y la sedimentación y colmatación de los cauces y las inundaciones.

Otros riesgos, como la destrucción de hábitats y la deforestación, el turismo y la pesca deportiva, la inequidad transfronteriza y actividades ilegales, el cambio climático y la planificación forestal, agropecuaria y piscícola inadecuada, incluyendo la introducción de especies exóticas, están presentes en la región y fueron compilados en la Tabla 2 pero no

serán tratados en detalle por considerar que merecen un análisis más exhaustivo y el alcance de este capítulo no lo permite.

Regulación y modificación del régimen hidrológico de ríos y planicies inundables: La regulación y modificación de los patrones de inundación y desecamiento en extensas áreas de las cuencas de ríos y caños mediante la construcción de tapas, módulos y desvíos de cursos de agua para asegurar las condiciones hídricas necesarias para el establecimiento de ganadería y agricultura intensiva, es una de las amenazas más importantes para los ecosistemas de los grandes ríos llaneros (Montoya et al. 2011). La construcción de tapas, diques o terraplenes en la sabana que obstruyen o desvían el flujo del agua e impiden la variabilidad estacional de inundación y desecamiento cíclico de las sabanas (pulso de inundación), así como la migración de los peces entre cuerpos de agua en las extensas planicies inundables de los ríos llaneros fue reseñado en las entrevistas con los informantes consultados (El Yagual en río Arauca, Achaguas en el río Matiure) y ha sido señalado por Novoa (2002), Machado-Allison (2005) y Rial et al. (2010) como uno de los principales problemas que amenazan las poblaciones de especies de peces migratorias al impedir su desplazamiento entre ríos, caños, hileros, esteros y lagunas que constituyen las diferentes zonas que son utilizadas para su reproducción, crecimiento o alimentación. A pesar que esta práctica está prohibida por la Ley de Pesca y Acuicultura vigente (artículo 39, parágrafo dos) es muy difícil de controlar ya que estas estructuras son construidas en hatos privados, muchos de los cuales se constituyen en grandes latifundios, afectando el suministro de agua, la permanencia de “pozos” y lagunas en el tiempo (se secan completamente) y la actividad pesquera aguas abajo. Los pescadores artesanales y agricultores de subsistencia son los más perjudicados, según se constató en las entrevistas.

Novoa (2002) reseña que la construcción de tapas o diques en algunos casos puede ser muy grave, cerrando todos los caños que tributan a tramos de ríos principales como el Apure dejándolos sin ningún afluente activo. Como es de esperar esta situación causa conflictos sociales en cuanto al acceso al agua y a los recursos hidrobiológicos, los que muy probablemente se acentuarán en escenarios a futuro, especialmente en años donde las lluvias sean escasas o la estacionalidad en las precipitaciones fluctúe con anomalías propias del período de cambio climático que estamos viviendo actualmente (Méndez et al., 2017). La carretera nacional de los llanos, que recorre de este a oeste la parte norte del estado Apure y es

Tabla 2. Riesgos y amenazas para los grandes ríos de los llanos de Apure. E: entrevistas realizadas; O: observaciones directas en campo.

Riesgos Amenaza	Descripción, modos de acción Consecuencias	Fuentes
Regulación y modificación del régimen hidrológico de ríos y planicies inundables	Regulación y modificación de los patrones de inundación y desecamiento en extensas áreas de las cuencas de ríos y caños mediante la construcción de tapas, módulos y desvíos de cursos de agua para asegurar las condiciones hídricas necesarias para el establecimiento de ganadería y agricultura intensiva; represas en la cuenca media y alta de tributarios del río Apure. <i>Interrupción de las rutas migratorias de peces, incluyendo ribazones y por consiguiente afectación de la actividad pesquera; modificación de los patrones de reproducción de peces; modificación de los patrones y procesos geomorfológicos y ecosistémicos en cauces de ríos y sus planicies inundables; cambios en el transporte de solutos y sedimentos por los ríos; efectos negativos con la ubicación de represas aguas arriba (cambios en los caudales y su estacionalidad, disminución del transporte de sedimentos, entre otros) e impactos sobre la calidad del agua.</i>	E, O. Petts (1990), Winemiller et al. (1996), Barbarino et al. (1998), Novoa (2002), MEA (2003), Machado-Allison (2005), Ley de Pesca y Acuicultura (2008), Hoeinghaus et al. (2009), Barletta et al. (2010), Machado-Allison y Bottini (2010), Rial et al. (2010), Montoya et al. (2011), Pérez et al. (2011), Méndez et al. (2017)
Sobreexplotación pesquera	Violación de vedas de pesca; desfase temporal de vedas para Cabruta y los puertos en Apure; escasa vigilancia y control gubernamental del cumplimiento de la normativa legal en cuanto a tallas mínimas de captura, volúmenes de pesca, y uso de artes de pesca permitidos; pesca en lugares no permitidos; deficiente desempeño de la gobernanza de la actividad pesquera; inequidad en la repartición de ganancias entre pescadores e intermediarios (caveros y depositarios) <i>Disminución y/o extirpación de los stocks pesqueros; cambios en procesos biogeoquímicos acuáticos y la estructura de las tramas tróficas; pérdida de fuentes de proteínas para las comunidades locales; pérdida de conocimientos tradicionales sobre pesca artesanal.</i>	E, O. Welcomme (1979), Taphorn y Barbarino (1993), Winemiller et al. (1996), Barbarino et al. (1998), Novoa (2002), Ruffino (2014), Allan et al. (2005), Layman et al. (2005), Taylor et al. (2006), Rodriguez et al. (2007), McIntyre et al. (2007), Pinedo y Soria (2008), Ley de Pesca y Acuicultura (2008), Humphries y Winemiller (2009), Pérez (2009), Barletta et al. (2010), Machado-Allison y Bottini (2010), Arocha y Miranda (2013), Pérez y Barbarino (2013), Correa et al. (2015)
Contaminación del agua	Contaminación por descargas de aguas servidas en ciudades y pueblos sin previo tratamiento; uso de agroquímicos en agricultura intensiva o extensiva en vegas e islas de los ríos; disposición de desechos sólidos y quema en las orillas de los ríos; derrames de hidrocarburos por actividades de explotación y por embarcaciones y motores fuera de borda, otros <i>Eutrofización de los cuerpos de agua; agrotóxicos en el agua; disminución de la disponibilidad de agua así como de su calidad para consumo humano y animal; problemas de salud: aumento de enfermedades transmitidas por el agua; mayor demanda de oxígeno, hipoxia/anoxia afectando organismos acuáticos; mortandad de peces; modificación de ciclos biogeoquímicos en ecosistemas acuáticos.</i>	E, O. Novoa y Ramos (1978), Nico et al. (1994), Winemiller et al. (1996), MinAmb (2006), Allan y Castillo (2007), Rodríguez et al. (2007), Infante (2008), Barletta et al. (2010), Lasso et al. (2010), Machado-Allison y Bottini (2010), MPPEA (2016),
Sedimentación / colmatación de cauces e inundaciones	Incremento en el transporte y deposición de sedimentos en los cauces; colmatación de tramos de ríos y caños; cambios en los procesos de la dinámica sedimentaria natural de los cursos fluviales (erosión, transporte y deposición) <i>Desvío, migración y desecamiento de cauces de ríos; pérdida de hábitats; disminución de la naregabilidad; inundaciones de mayor magnitud por colmatación y disminución de la capacidad de conducción de los cauces, fuga de caudales hacia Colombia (fuga Bayonero, río Arauca).</i>	E, O. Winemiller et al. (1996), Machado-Allison (2005), Takeuchi et al. (2007), Machado-Allison y Bottini (2010), Pacheco et al. (2012), Pérez-Lecuna (2013), Pacheco et al. (2014).

Tabla 2. Continuación. Riesgos y amenazas para los grandes ríos de los llanos de Apure. E: entrevistas realizadas; O: observaciones directas en campo.

Riesgos Amenaza	Descripción, modos de acción Consecuencias	Fuentes
Turismo y pesca deportiva	Incremento en la afluencia de turistas a ecosistemas frágiles; prácticas inadecuadas y excesivas de pesca deportiva; desconocimiento e incumplimiento de las normas y regulaciones de pesca deportiva; ausencia de guardería ambiental <i>Degradoación de ecosistemas, contaminación de aguas por desechos sólidos, disminución de los stocks poblacionales de especies de pesca deportiva.</i>	E, O. Taphorn y Barbarino (1993), Winemiller et al. (1996), Novoa 2002, Machado-Allison (2005), Infante (2008), Humphries y Winemiller (2009), Lasso et al. (2010)
Inequidad transfronteriza y actividades ilegales	Confrontación de modelos político-económicos y de desarrollo agudizados en la frontera con Colombia; conflicto armado en Colombia y avance de grupos irregulares armados; presencia de narcotráfico; alta inequidad monetaria entre el bolívar y el peso colombiano; corrupción de funcionarios gubernamentales y autoridades de orden público y defensa nacional de ambos países; desarticulación de movimientos sociales <i>Deterioro de la gobernabilidad del Estado; indefensión de ciudadanos, especialmente campesinos y pescadores en zonas rurales ante la violación de DDHH; usurpación de poderes al Estado; grave problema de contrabando de extracción de bienes, entre ellos parte de la producción pesquera hacia Colombia, aumentando la presión de explotación de los recursos en los ríos llaneros; empobrecimiento y disminución de las condiciones de vida de la población; pérdida de soberanía en territorios fronterizos; desestabilización económica, política y social a escala regional y nacional.</i>	E, O. Pérez-Lecuna (2013). Sainz-Borgo y Fernández (2017)
Cambio climático	Aumento de la temperatura y de la variabilidad en el régimen de las precipitaciones; disminución de la predictibilidad hidrológica <i>Modificación de los regímenes hidrológicos (aumento de eventos extremos de lluvias y sequía); cambios en la estructura y funcionamiento de ecosistemas de grandes ríos, procesos biogeoquímicos y óptimos de temperatura de organismos acuáticos; efectos negativos sobre las actividades humanas asociadas a estos ecosistemas.</i>	E, Barletta et al. (2010), Hamilton (2010), Montoya et al. (2011), Méndez et al. (2017)
Cambios en el uso del suelo	Aprovechamiento de tierras poco aptas para la agricultura intensiva mediante la introducción de especies exóticas para plantaciones forestales (acacias, pinos, eucaliptos, teca, palma aceitera), pastizales (pasto Bermuda y otros), y piscicultura (mojarra de río de la cuenca del Lago de Maracaibo, <i>Caquetáea kraussii</i> y tilapias africanas, <i>Oreochromis spp.</i>) <i>Degradoación de hábitats, deforestación, quema y fragmentación de ecosistemas; mayor susceptibilidad de los suelos a la erosión, mayor transporte de sedimentos a los ríos; Las plantaciones forestales de especies exóticas tienden a degradar el suelo además de tener un alto consumo de agua, disminuyendo la recarga de acuíferos; el manejo de pastizales requiere uso intensivo de agroquímicos y tiene alto consumo de agua; las especies de peces exóticas pueden desplazar a otras especies, aunque su efecto sobre los procesos ecosistémicos no está determinado aún para la región.</i>	E, O. Comerma y Luque (1971), Señaris y Lasso (1993), Winemiller et al. (1996), Machado-Allison (2005), Infante (2008), Barletta et al. (2010), Machado-Allison y Bottini (2010), Álvarez-León et al. (2011), Montoya et al. (2011)

construida sobre un extenso terraplén, impide la inundación de las sabanas al sur de ésta, limitando la dinámica estacional de inundación-sequía en estas áreas (Rial et al. 2010). Aunado a esto, los módulos de Apure, estructuras complejas conformadas por diques y compuertas, fueron construidos entre los años 1969-1979 con el objeto de regular el flujo del agua en el sistema de drenaje natural de las sabanas y controlar las inundaciones para permitir la acumulación del agua durante el período lluvioso y así poder contrarrestar su déficit durante sequía, asegurando el acceso al agua durante todo el año para el desarrollo de actividades agropecuarias. Los módulos, al igual que las tapas y diques, también afectan negativamente, la conectividad hidrológica lateral, los ciclos biogeocíquicos, la riqueza y dinámica ecológica de las comunidades acuáticas (Rial et al. 2010), las pesquerías artesanales y el acceso al agua de la población humana, pero en una magnitud y extensión territorial mucho mayor. Lo que el ex presidente Rafael Caldera denominó como “*la doma del agua*”, para referirse a los “beneficios” de los módulos ubicados en Mantecal, que permitirían “sanear” y rescatar para la producción agropecuaria grandes extensiones de sabanas inundables en Apure, no fue más que un ejercicio de transformación del paisaje a gran escala con consecuencias negativas sobre la ecología de los humedales del estado Apure (Rial et al. 2010). Es en estos humedales y planicies inundables donde ocurren los niveles más altos de biodiversidad, dónde se encuentran los sitios de reproducción y alimentación de muchas especies acuáticas (incluyendo las principales especies comerciales en las pesquerías continentales), dónde se producen procesos geomorfológicos que moldean los cursos de los ríos y sus planicies, dónde los humedales purifican el agua y dónde se asientan pueblos indígenas con una cultura ancestral única, entre otros (MEA 2003; Montoya et al. 2011).

Cabría preguntarse si “sanear” terrenos sujetos a inundación para la implementación de ganadería en áreas no aptas (por su baja capacidad de carga y condiciones inadecuadas) es lo más lógico o apropiado. Por parte de la Escuela Popular de Piscicultura se señala que con sólo una mínima porción del territorio y de los recursos que se necesita para mantener ganado bovino se podrían sembrar cachamas y peces nativos con un impacto significativamente menor y con posibilidades de suplir las necesidades de proteína animal que ofrece la actividad ganadera (Walterio Lanz, com. pers.). Acaso sería más apropiado el cultivo de peces que la cría de ganado en estos ecosistemas llaneros, considerando que el paradigma desarrollista y civilizatorio de “rescatar” y hacer productivas a estas tierras a costa de poner en peligro sus

ecosistemas y los bienes y servicios que éstos proveen, luce más bien anacrónico y alejado del ideal de sustentabilidad.

Por último, la presencia de una serie de represas en la parte alta y media de la cuenca del río Apure (Santo Domingo, Maspalito, Boconó-Tucupido, Uribante, entre otras) afecta a la conectividad longitudinal en los principales tributarios y al régimen de descarga líquida y sedimentos aguas abajo de estos embalses. El efecto de las represas sobre los patrones y procesos ecológicos en los ecosistemas fluviales tropicales con planicies inundables ha sido ampliamente reseñado, siendo responsables de cambios sustanciales en la dinámica de poblaciones y comunidades acuáticas; en las tramas tróficas acuáticas, en el ciclaje de nutrientes y en la dispersión de organismos acuáticos, entre muchos otros (Petts 1990, Hoeinghaus et al. 2009, Barletta et al. 2010). Las represas en la cuenca del Apure han sido señaladas como un importante factor negativo en la distribución y abundancia de ciertas especies de peces, afectando particularmente a especies con interés pesquero más importantes, que como la del coporo y los bagres, realizan largas migraciones entre los tramos bajo y alto de los ríos llaneros (Winemiller et al. 1996, Barbarino et al. 1998, Novoa 2002, Machado-Allison 2005).

Sobreexplotación pesquera: Uno de los puntos recurrentes en las entrevistas realizadas a los pescadores fue la apreciación que ellos tuvieron de la disminución en el tiempo de las capturas y tamaños de las especies comerciales. En Bruzual (río Apure) se conversó con varios pescadores, quienes hablaron de los cambios que han ocurrido con los “ritmos de pesca”, según porque “hay menos peces que antes”, y la razón principal obedece al incremento de personas dedicadas a la pesca: “como hay más pescadores, hay menos peces”. Esta afirmación es sostenida por varios informantes del pueblo El Yagual (río Arauca), quienes señalan que la pesca ha disminuido de manera importante, debido principalmente al aumento de pescadores, argumentando el “poco respeto de los nuevos pescadores a la talla adecuada de los peces necesaria para garantizar la reproducción de la especie”. Una solución para esto según los pescadores es “prohibir la pesca entre los meses de marzo y julio, lo que permitiría un reequilibrio en la cantidad y tamaño de las especies” (la veda está normada entre los meses que menciona el pescador, lo que demuestra un desconocimiento del marco legal que regula la actividad en el estado). Adicionalmente, varios pescadores en Bruzual y Guasdualito (río Sarare) evocaban que la cantidad de peces capturados se veía influenciada también por el aumento de turistas en la

región y el aumento de la población en los centros poblados. Además de la mengua en la pesca, se mencionó una disminución, y hasta desaparición, de ciertas especies que antes se encontraban más fácilmente como el bagre doncella (*Sorubimichthys planiceps*) y el valentón (*Brachyplatystoma filamentosum*), siendo éstas las más improbables de encontrar en los ríos del estado Apure: “aunque antes se encontraban fácilmente desde Guasdualito hasta Cunaviche, ahora se tiene que ir río abajo y llegar al río Orinoco para poder encontrarlas”, según palabras de pescadores.

En la playa El Zamuro de Elorza (río Arauca), un trabajador de una cooperativa de extracción de arena comentó que debido al cambio climático la cantidad de peces había disminuido. También comentó la existencia hace aproximadamente 10 años de lo que los habitantes llamaban el “pescado del pueblo”: una especie de centro de acopio donde los pescadores depositaban parte de su pesca, y los habitantes del pueblo podían surtirse del pescado totalmente gratis. Esto, según el trabajador, ya no existe debido a que los pescadores no capturan la misma cantidad de peces, aunque hubo dos pescadores, uno de Cunaviche y otro de San Fernando, que afirmaron que la pesca continuaba igual que antes. En las pesquerías multiespecíficas, como la del río Apure, un indicador del agotamiento del recurso por sobreexplotación es la sustitución de las especies grandes, de crecimiento lento y larga vida, por especies pequeñas de rápido crecimiento y reemplazo, aunque en la mayoría de los casos estos síntomas son difíciles de separar de los efectos de otras alteraciones no debidas a una alta presión pesquera (Welcomme 1979; Allan et al. 2005; Humphries y Winemiller 2009).

La sobreexplotación pesquera para algunas especies de importancia comercial en Apure es presentada por varios autores. Winemiller et al. (1996) aunque no se refiere a las pesquerías del estado, ya para entonces refiere una drástica disminución en la pesca de los altos llanos occidentales, región que forma parte de la cuenca del Apure. Barbarino et al. (1998) reporta disminuciones importantes en las ribazones del coporro en los tributarios del río Apure debidas al represamiento de muchos ríos que bloquean las migraciones de estos peces, interrumriendo sus ciclos de vida y por ende su capacidad de reclutamiento poblacional. Novoa (2002) menciona que los recursos pesqueros en la subcuenca del Apure estaban subexplotados aunque advertía que los datos eran insuficientes y recomendaba monitorear ciertas especies como la cachama, el morocoto, el bagre rayado y el curito cuya producción pudiera colapsar debido a una potencial sobreexplotación. En una revisión del estatus de los hábitats, peces y pesquerías en la cuenca

del Orinoco, Rodríguez et al. (2007) mencionan que las pesquerías han variado drásticamente mostrando cambios importantes en la distribución, composición y estructura de los stocks de peces del Orinoco, evidenciándose que los patrones de consumo de peces han cambiado como respuesta a que las especies comerciales más grandes que eran las especies tradicionales de consumo y más apreciadas ya no son tan comunes debido a su sobreexplotación, sustituyéndose con peces como caribes y payaras en los mercados (Figura 4c). La sobreexplotación pesquera de las especies comerciales más grandes ha ocasionado su extirpación o disminución local en las cercanías de los principales centros pesqueros y esto ocasiona que los pescadores tengan que recorrer distancias más largas para conseguir el rendimiento esperado (Rodríguez et al. 2007) tal como lo mencionaron algunos pescadores. Machado-Allison y Bottini (2010) reportan una disminución de la producción pesquera fluvial nacional a pesar de los esfuerzos gubernamentales de aumentar la flota pesquera. Particularmente preocupante es el caso del bagre dorado (*Brachyplatystoma rousseauxii*) que parecía estar sujeto a una sobrepesca de crecimiento, y el caso de la cachama (*Colossoma macropomum*). Las especies identificadas por Machado-Allison y Bottini (2010) como las más afectadas son todas migratorias y plantean que aparte de la sobrepesca también pudieran incidir las alteraciones y/o modificaciones de los ecosistemas por parte de actividades humanas, como las que se enumeran en la Tabla 2.

Por su parte, Pérez y Barbarino (2013) preocupados por la ausencia de programas de monitoreo para determinar el estatus de explotación de las principales especies comerciales de peces en la cuenca del Apure, presentan datos poblacionales para éstas y proponen medidas de manejo. Las catorce especies estudiadas presentaron parámetros poblacionales propios de especies fuertemente explotadas y muestran síntomas de que las prácticas de pesca continental están afectando gravemente el recurso. Especialmente preocupante es el caso del curito (*Hoplosternum littorale*) cuyos parámetros poblacionales muestran una sobreexplotación severa. Otros, como el bagre cabezón (*Pseudoplatystoma metaense*) que aunque no presenta una sobreexplotación de reclutamiento muestra indicios de sobreexplotación de crecimiento. En la región amazónica brasileña, los bagres rayados, la cachama y los prochilodóntidos (coporos, zapuargas y bocachicos) también se encuentran sobreexplotados (Ruffino 2014).

Los estudios sobre las pesquerías en Apure son muy pocos y las evidencias que se tienen actualmente no siempre son concluyentes ya que la calidad de los

datos oficiales sobre las pesquerías es deficiente (Pérez 2009). Novoa (2002) también alude esta situación y muestra que la misma originó en su momento una subestimación a la mitad de la producción pesquera real. Pero esto no es exclusivo de las pesquerías fluviales venezolanas. Por ejemplo, Ruffino (2014) estima que el volumen de las pesquerías del estado Amazonas en Brasil pudiera ser tres veces mayor de lo que reportan las estadísticas oficiales al no incluir lo capturado por pescadores artesanales para su subsistencia. Por otro lado, el ente gubernamental de administrar las pesquerías en Venezuela, INSOPESCA, presenta el problema de que sus reportes y estadísticas no están basados sobre los desembarques y censos en campo sino en las guías de movilización otorgadas en las inspectorías de pesca. Esta situación actualmente impide contar con datos confiables sobre el estatus de la explotación de los recursos.

Otro factor no incluido en las estadísticas gubernamentales es el de las capturas y contrabando de extracción del recurso. El contrabando de extracción de la producción pesquera hacia Colombia mencionado por Novoa (2002) fue reseñado por varios informantes en San Fernando, El Amparo, Guasdualito, Puerto Páez y Bruzual, los que relataron que debido a las altas ganancias al vender el pescado para su comercialización ilegal en Colombia, causado por la fuerte distorsión cambiaria entre la moneda colombiana y la venezolana, la oferta en los centros poblados del estado se ha visto disminuida. Este comercio ilegal ha estimulado una presión pesquera mucho mayor, promoviendo el incumplimiento de las normas y regulaciones en cuanto al uso de artes de pesca, temporadas de veda, tallas mínimas de captura, sitios autorizados para la pesca y obtención de los permisos para captura y movilización del pescado. Esta relación comercial con Colombia no siempre fue irregular. Novoa (2002) menciona que durante los años 90, no menos del 30 % de la producción pesquera fluvial del país se exportaba legalmente hacia Colombia. Este comercio promovió el aumento en los desembarques fluviales durante ese período para satisfacer la demanda.

Los aspectos de la realidad socioeconómica de los pescadores, y otros trabajadores vinculados a los ríos muestreados, fueron evocados por los informantes con frecuencia. El principal problema relatado estuvo vinculado a las relaciones comerciales desiguales entre pescadores y caveros o depositarios. Los caveros son las personas que compran el pescado directamente a los pescadores y se encargan o bien de venderlo directamente al consumidor final o de la distribución a otros establecimientos comerciales. Son los caveros

quienes determinan el precio a pagar por el pescado, que es cada vez más bajo con respecto a los precios de venta al consumidor y al costo de la vida para los pescadores, lo que ocasiona el abandono de la actividad en ciertos casos. Un pescador informante de Bruzual contaba que todos los pescadores, “cuando no pueden pescar tienen que resolverse”, buscando trabajo en hatos, o en cualquier otro oficio a destajo: cortar un monte, pintar, hacer una pared, etc. Relativo a esto, indicó que “si logro conseguir un trabajo fijo, dejo de pescar”. Los pescadores reconocen que esta problemática pudiera estar asociada a la poca organización social en torno a la pesca (sindicatos, cooperativas, consejos de pescadores, etc.) lo que disminuye su injerencia sobre los precios, a pesar de que la Ley de Pesca y Acuicultura vigente reconoce y promueve la participación popular en materia de pesca y acuicultura (Título VII), mediante las figuras de consejos consultivos, comités de seguimiento y consejos de pescadores y pescadoras.

La legislación que regula la actividad pesquera fluvial se ha adaptado a lo largo de los últimos años sin embargo se necesita una actualización urgente para poder manejar efectiva y sustentablemente el recurso. Actualmente, la época de veda para la pesca en los ríos del estado Apure (Resolución 003 de INAPESCA, G. O. 37.472 del 26/06/2002) comienza el domingo de resurrección y se extiende hasta el 31 de julio de cada año. Esta normativa regula, entre otros aspectos, las tallas mínimas de captura establecidas para las principales especies comerciales y los tipos de artes de pesca permitidos para la región. Por otro lado, la Resolución 002 de INAPESCA, G. O. 37.472 del 26/06/2002, que regula la pesca en el Orinoco, desde el estado Amazonas hasta el Delta del Orinoco, establece la temporada de veda entre el 1 de mayo al 31 de julio de cada año. Esta disparidad en el inicio de la veda permite que algunos pescadores y distribuidores de pescado sigan capturando y movilizando pescado en ríos del estado Apure (normados por la Resolución 003) pero reportando sitios de desembarque en Orinoco y solicitando guías de transporte en la inspectoría de pesca vecina ubicada en Cabruta, estado Guárico (normada por la Resolución 002). Para el año 2016, el desfase temporal de entrada en vigencia de las vedas entre Apure y Orinoco fue de 34 días, dos zonas que no son discretas y fragmentadas una de la otra, sino zonas que pertenecen a un continuo ecológico. De hecho, de manera regular una porción de las capturas realizadas en la parte baja del Apure, Arauca y Arichuna son reportadas en Cabruta por razones lógísticas durante los períodos permitidos para la pesca y movilización de la producción pesquera y no responden a la práctica perniciosa de

incumplimiento de los tiempos de veda. Sin embargo, esto ha originado un aumento artificial de las estadísticas correspondientes al Orinoco, con pescado que proviene de Apure.

En el año 2013, INSOPESCA, luego de realizar un conjunto de consultas a pescadores e investigadores, planteó la necesidad de proponer una resolución que dicte las normas técnicas de ordenamiento de la actividad pesquera comercial para el Orinoco y la subcuenca del Apure en conjunto (unificación de las resoluciones 002 y 003). Esta propuesta se fundamentó en la necesidad de sincronizar el inicio de las temporadas de veda entre el Orinoco y la cuenca del Apure, así como la actualización de las áreas permitidas de pesca y de las regulaciones en cuanto a las tallas mínimas de captura o vedas especiales para ciertas especies cuya producción se haya visto reducida y existen indicios de afectación de sus stocks poblacionales. Adicionalmente, la pesca comercial en el plano de inundación, incluyendo lagunas y sabanas inundadas no estaría permitida en la normativa propuesta a excepción de la explotación de los llamados “cuerpos de agua en desecación progresiva” en la época de sequía, previa concesión de permisos especiales por INSOPESCA. Hasta el momento, las resoluciones existentes están desactualizadas en relación al estatus de los stocks poblaciones de las especies comerciales y del manejo responsable y sustentable de nuestras pesquerías continentales, y en consecuencia no se ha ajustado a la Ley de Pesca y Acuicultura promulgada en 2008.

Contaminación del agua: El problema de la disposición inadecuada de aguas servidas y residuos sólidos en los ríos del estado fue mencionado continuamente en las entrevistas y observado en casi todos los ríos visitados, siendo de mayor magnitud en los sectores fluviales cercanos a los centros poblados. Según la memoria y cuenta del Ministerio para el Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas (MPPEA 2016) la empresa hidrológica del estado Apure, Hidrollanos, reporta que existe una cobertura de 86% en la recolección de aguas servidas para el año 2015, lo que se ha logrado gracias a grandes inversiones para la construcción de la infraestructura necesaria. Sin embargo, esta infraestructura está presente sólo en los centros urbanos y tiene como objeto dirigir las aguas servidas de las ciudades hacia sitios puntuales de descarga en los ríos directamente. En San Fernando existen cuatro lagunas de oxidación que son usadas para tratar las aguas parcialmente antes de ser dispuestas en el río Apure, no obstante se observó que existe una cantidad importante de puntos de descarga de aguas servidas improvisados a lo largo de las riberas

de casi todos los ríos del estado. Los demás centros poblados carecen de sistemas de tratamiento de aguas servidas y son descargadas directamente en los ríos (a pesar que sean redistribuidas para su disposición a través de colectores y redes cloacales). El sistema de disposición y manejo de residuos sólidos es deficiente en los centros poblados del estado y ausente en las zonas rurales (incluyendo áreas turísticas como playas y zonas de pesca deportiva en los ríos Capanaparo, Caño La Pica, Cinaruco, Sarare y Arauca), lo que aunado a las limitaciones relacionadas al tratamiento de las aguas residuales se convierte en un problema sanitario importante que puede afectar la salud humana, por diseminación de enfermedades transmitidas por el agua, tal como fue relatado por nuestros informantes en San Miguel de Cunaviche y Achaguas.

Con respecto al acceso al agua potable, MPPEA (2016) menciona que Hidrollanos cuenta con 36 sistemas de producción de agua potable a lo largo del estado llegando a los 41.9 millones de m³ de agua distribuidos para el 2015. El agua potable en los centros poblados de Apure proviene de aguas subterráneas, a excepción de los sistemas de agua en San Fernando, El Amparo y Guasdualito cuya toma proviene de aguas superficiales de los ríos Apure, Arauca y Sarare, respectivamente. Los sistemas de producción de agua potable presentan diferencias en cuanto a su complejidad y el tratamiento aplicado antes de su distribución lo que hace del agua potable muy heterogénea en cuanto a su calidad y dependiente del estado de conservación de los acuíferos y ríos como el Apure y Arauca.

A parte de la contaminación causada por las aguas domésticas y de pequeñas industrias de los centros urbanos, hay que mencionar las fuentes difusas y puntuales de contaminantes debidas a actividades agropecuarias, en donde los cultivos agrícolas con uso de fertilizantes, la ganadería bovina intensiva y mataderos, las granjas de porcinos y los centros de acopio y procesamiento de pescado contribuyen a la contaminación de aguas tanto superficiales como subterráneas por infiltración (MinAmb 2006). La principal consecuencia de esto es el enriquecimiento por nutrientes de las aguas de los ríos y lagunas inundables, tal como se pudo observar en algunos cuerpos de agua y con valores altos de nutrientes y biomasa algal en algunas localidades muestradas durante el levantamiento limnológico realizado (Tabla 1). La eutrofización de los cuerpos de agua origina cambios en la composición y estructura de comunidades acuáticas, modifica los ciclos biogeoquímicos de nutrientes y aumenta el metabolismo microbiano en la columna de agua causando un mayor consumo de oxígeno, lo que en algunos casos genera condiciones

de hipoxia y anoxia, las cuales son deletéreas para los peces y otros organismos de la fauna acuática (Allan y Castillo 2007, Rodríguez et al. 2007, Barletta et al. 2010).

Las actividades agrícolas en el estado, a pesar de no ser tan importantes están ubicadas predominantemente en las riberas o vegas de los ríos impactándolos directamente. Algunos rubros, tales como maíz y algodón, se cultivan en las vegas e islas de los ríos utilizando agroquímicos como pesticidas y herbicidas sin ningún tipo de control. Es de particular importancia la necesidad de establecer un régimen de monitorización de agroquímicos en las aguas y en los peces, en ríos que drenan áreas de agricultura intensiva donde se usan grandes cantidades de pesticidas y herbicidas. Este es el caso de los ríos que drenan los estados agrícolas de Barinas, Portuguesa, Guárico y Cojedes y cuyas aguas desembocan en el río Apure. También es cierto que en las cuencas altas de los ríos Arauca y Meta, ubicadas en territorio colombiano, existe uso de fumigaciones a gran escala con herbicidas para la erradicación de cultivos ilegales (Machado-Allison 2005, Lasso et al. 2010). Ya desde la década de los setenta se venían haciendo advertencias sobre los graves efectos del uso indiscriminado de estos agroquímicos sobre los ecosistemas fluviales, las comunidades de organismos acuáticos y las poblaciones humanas de los llanos centro-occidentales (Novoa y Ramos 1978, Nico et al. 1994, Winemiller et al. 1996) pero lamentablemente hasta ahora no existe ningún plan de monitoreo o control. También vale la pena mencionar que en los sectores de los ríos donde el transporte fluvial con embarcaciones a motor es significativo (El Amparo, San Fernando, Puerto Páez), las personas entrevistadas manifestaron su preocupación por la contaminación debido al impacto de esta actividad, incluyendo la descarga de hidrocarburos al agua y la posible contribución del alto tráfico de botes a la disminución de stocks de peces, que según algunos informantes, migran a zonas alejadas de estas actividades. Por último, las zonas productoras de hidrocarburos (Campos Guafita y La Victoria) localizadas en el extremo occidental del estado y cercanas al río Arauca y cabeceras del Apure (Infante 2008) son amenazas potenciales a la calidad del agua y a la integridad de los ecosistemas acuáticos de estos, no solo en caso de ocurrir accidentes, sino en sus actividades regulares de exploración y explotación.

Sedimentación, colmatación de cauces e inundaciones: Ciertos eventos climáticos o de acción antrópica tales como vaguadas, construcción de diques o tapas y cambios en el uso de suelos (deforestación y urbanización), pueden generar procesos erosivos y

por ende el arrastre y deposición de sedimentos y las inundaciones (Winemiller et al. 1996). Entre las principales problemáticas reseñadas en la literatura y la prensa que se generan como consecuencia del arrastre y deposición de sedimentos se pueden mencionar: 1) la pérdida de soberanía nacional; 2) las pérdidas económicas producidas como consecuencia de los cambios en la dinámica hidráulica del río; 3) el impacto social que se produce sobre las poblaciones asentadas en las riberas de los ríos y 4) la disminución de las poblaciones de peces migratorios como consecuencia de la interrupción de la conectividad de la red fluvial (Winemiller et. al. 1996).

Desde un punto de vista geoestratégico la sedimentación puede tener serias implicaciones en cuanto a soberanía del territorio nacional se refiere. Tal es el caso del río Arauca, el cual es límite internacional con la República de Colombia por un recorrido de 350 km. Este río presenta problemas de sedimentación que alteran el cauce hídrico del río socavando el lado venezolano afectando a nuestro país, ya que frente a la ocurrencia de vaguadas, la deposición de sedimentos destruye demarcaciones fronterizas en diversos sitios (Pérez-Lecuna 2013). Los orígenes de esta problemática se remontan a la primera mitad del siglo XX, cuando M. Ballón, propietario de unas tierras en la margen derecha del río Arauca (lado colombiano) construyó una toma para regar sus tierras. Esta toma ocasionó una difluencia del río conocida localmente como la “Fuga Bayonero”. En el período de lluvias, el aumento del caudal aunado a la pendiente del terreno favorece al escorrimiento hacia el sur e intensifica la magnitud de la fuga, generando para Venezuela problemas de navegación por el río en la estación seca, aguas abajo de la “Fuga Bayonero”. Actualmente, a pesar de las diligencias diplomáticas de Venezuela solicitando al país vecino el cierre de la fuga, esta no se ha llevado a cabo en su totalidad (ver Sainz-Borgo y Fernández 2017).

Con relación al mal manejo de la cuenca alta del río Apure, Pacheco et al. (2012) demostraron a través de un estudio de SIG que en la década 1990-2000 la tasa de deforestación media anual de la reserva forestal de San Camilo ubicada en el piedemonte andino del estado Apure, fue de 3,6%, correspondiente a 16.722,3 ha. En la década 2000-2010 esta tasa disminuyó a 2,2% para un total de 6.546,04 ha. La razón fundamental atribuida a la actividad de deforestación ha estado relacionada con substitución de bosques por tierras para la agricultura y la ganadería (Pacheco et al. 2014).

Además de las repercusiones para la soberanía nacional, es importante destacar las cuantiosas pérdidas económicas tanto en actividades productivas

(agricultura y ganadería) y obras públicas como para las familias asentadas en la planicie de inundación. Como estrategia para evitar las inundaciones occasionadas por la sedimentación y colmatación de los ríos, encontramos que en varias localidades, las poblaciones locales dragan en los períodos más secos del año. Tal es el caso del río Arauca en Playa El Zamuro del poblado de Elorza. Allí se pudo observar un grupo de camiones extrayendo arena de las orillas del río Arauca (Figura 4e). Al conversar con los trabajadores, explicaron que ésta es una actividad practicada en el período de sequía, específicamente en el mes de febrero, cuando las aguas están más bajas y no se corren riesgos de ser arrastrados por la fuerza del río. La extracción de arena, según ellos, permite dragar el cauce del río y evita futuras inundaciones en el período de lluvia. La arena extraída es utilizada para la construcción del pueblo. Según uno de los trabajadores “esta arena es la mamá de Elorza”, haciendo referencia a que la materia prima de todas las casas y residencias era principalmente la arena de esa playa. Esta actividad también fue registrada en el río Apure, donde según conversaciones con los pescadores y vendedores del sector Las Cabañitas de San Fernando de Apure, hay lancheros que trabajan en la extracción de arena del río Apure en los períodos más secos del año, y que de alguna manera contribuye a que el río no se salga de su curso en las crecidas.

Sin embargo, Takeuchi et al. (2007) al realizar una consulta pública a planificadores nacionales y regionales así como a las redes de transportistas en el marco de un estudio del impacto ambiental de la construcción de un canal de estabilización en un tramo de 680 km del río Apure, desde la confluencia del río Apure con el Orinoco hasta Guasdualito, encuentran que el dragado con fines de construcción de diques o canales de estabilización, podría afectar a la fauna acuática en general, y las fuentes de alimentos de los bagres comerciales al alterar el régimen hidráulico. Los cambios en el hábitat para algunas especies de peces y la aceleración de las corrientes hacen difícil o imposible que dichas especies migren y puedan completar su ciclo reproductivo. Los autores rescatan la necesidad de realizar futuras evaluaciones acerca de la deposición de sedimentos naturales arrastrados desde aguas arriba, con la finalidad de comprender con más profundidad los posibles efectos del dragado sobre el equilibrio ecosistémico de estos ríos. Estos estudios podrían generar medidas de mitigación de inundaciones para ser implementadas.

Lo anteriormente expuesto conduce a una necesaria reflexión sobre la importancia de generar monitoreos periódicos y estudios orientados al entendimiento de las consecuencias de la sedimentación de

los ríos de los llanos bajos de Venezuela sobre la destrucción de hábitats de la fauna de peces y otros animales que utilizan el río. Adicionalmente es necesario generar un diálogo transdisciplinario que permita a los decisores políticos en conjunto con las poblaciones locales diseñar políticas y estrategias que permitan mitigar las inundaciones sin comprometer a los ecosistemas del río.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los ríos de los llanos de Apure son sistemas con un régimen hidrológico anual monomodal, con una alta biodiversidad y poco conocidos desde el punto de vista de funcionamiento ecológico. El pulso de inundación es la fuerza motriz de todos los cambios que ocurren, de manera conservada, año tras año en los grandes ríos y sus planicies inundables. La diversidad de tipos de aguas y ríos y su configuración en el espacio como un mosaico aumenta la interacción de zonas ecotonales entre ecosistemas. Aspectos como la presencia de caños o morichales de aguas negras o claras que confluyen en ríos de aguas blancas o la existencia de diversos tipos de hábitats y ecosistemas en la franja inundable de los ríos cuya conectividad entre sí varía progresivamente a lo largo del ciclo anual de inundación, hacen que los ríos de los llanos de Apure sean sistemas complejos y aún poco entendidos. La gran biodiversidad de fauna y flora que se conoce actualmente en estos ríos es sólo una parte de lo que realmente existe. Macroinvertebrados acuáticos, zooplancton y meiofauna, así como algas del plancton y bentos son casi desconocidos. Por ejemplo, en el caso de la fauna, tenemos que, mientras las aves, peces, mamíferos y reptiles pertenecen al mismo phylum (Chordata), en la meiofauna se reconocen doce phyla diferentes para agua dulce, tales como Nematoda, Arthropoda, Tardigrada, Gastrotricha, Rotifera, entre otros, de los cuales se conoce muy poco o nada.

El poblamiento y la distribución espacial de la población en los llanos de Apure han estado vinculados a la topología de la red fluvial y a la dinámica estacional de sus ríos y humedales. De esta manera, la relación de los habitantes del estado con sus ríos ha sido históricamente muy estrecha, adaptándose al ciclo anual de inundaciones y sequía. El mejor ejemplo de esto son los modos de subsistencia y los intercambios sociales de los indígenas, fuertemente acoplados con esta dinámica estacional. Del mismo modo, la cultura llanera está estrechamente relacionada con los ríos de la región y la trashumancia es considerada un atributo identitario del apureño. Los habitantes de los poblados del estado, son todos asociados con algún río cercano, se benefician de ellos

al utilizarlos como fuente de agua y por tener los puertos de desembarque de pesca continental más productivos del país, a pesar de, también tener que vivir con los impactos negativos de crecidas e inundaciones durante anomalías climáticas, por ejemplo. En cuanto a la pesca, las ribazones de peces como el coporo y los bagres rayados son seguidas a lo largo de su recorrido por los pescadores apureños y son los eventos más importantes que mantienen las pesquerías comerciales de estos ríos llaneros.

Entre los riesgos y amenazas identificadas para los ríos de los Llanos de Apure la regulación de los regímenes hidrológicos, la sobreexplotación pesquera, la contaminación de las aguas y la sedimentación de los ríos constituyen los más importantes. La construcción de tapas y diques que impiden la libre circulación del agua y fragmentan la planicie inundable es una preocupación mayor que, aunque prohibida por la legislación vigente, se sigue practicando ampliamente. Esto causa grandes modificaciones a los patrones y procesos ecológicos de los ecosistemas inundables, entre ellos la interrupción de los desplazamientos de peces que migran usando la planicie inundable para reproducción, alimentación o refugio.

Por otro lado, una de las principales amenazas para las especies de peces con interés pesquero comercial es el aumento de su demanda y el incumplimiento de la normativa de pesca, especialmente a lo concerniente a las vedas y tallas mínimas de captura, aunque el uso de artes y métodos de pesca no regulados y/o prohibidos junto con la realización de pesca en lagunas y cuerpos de agua en la planicie inundable también han sido mencionados como factores importantes para la declinación de las poblaciones de peces, indicando en algunos casos síntomas de sobreexplotación del recurso pesquero. Tanto la contaminación del agua como los procesos acelerados de sedimentación que modifican la hidráulica de los ríos y son causantes de inundaciones no deseadas son problemas causados mayormente por la falta de planes de conservación y manejo del recurso agua y de los suelos en la cuenca de sus ríos. Planes para lograr un uso sustentable de las tierras sujetas a inundación y de un manejo y disposición adecuados de las aguas residuales y desechos sólidos en los poblados de Apure son muy necesarios.

Por otra parte, se debe enfatizar en la necesidad de crear un sistema de indicadores socioambientales que permitan hacer un monitoreo periódico del estatus de los ecosistemas fluviales de la región. En aras de alcanzar la sustentabilidad de la región se sugiere que este sistema de indicadores sean integradores en la medida de lo posible para que puedan interrelacionar las dimensiones sociales, económicas y ambientales de

la sustentabilidad; sean predictivos de situaciones a futuro, teniendo en cuenta las tendencias históricas y con la capacidad de poder medir no sólo la equidad intergeneracional sino también la intrageneracional (Di Pace y Crojethovich 1999). Con respecto al uso sustentable de los ríos llaneros, la única manera de alcanzar la conservación de sus ecosistemas, biodiversidad y pesquerías fluviales es mediante el comanejo en donde todos los actores involucrados participen mediante la integración de saberes para la construcción de un diálogo efectivo para el delineamiento de los planes locales de manejo. Pérez et al. (2011) plantean un plan de manejo de las pesquerías de la cuenca del Apure en donde proponen el comanejo participativo y adaptativo y la creación de una red de reservas de pesca en la cuenca. En la Amazonía brasileña, colombiana y boliviana (Pinedo y Soria 2008) hay ejemplos exitosos de comanejo comunitario que deberían ser estudiados e implementados en nuestro país, el cual cuenta con una constitución nacional, leyes y reglamentos que permiten y promueven la participación protagónica de sus habitantes en todos los ámbitos de vida de la sociedad. Una parte importante de la información que existe sobre los ecosistemas fluviales del estado Apure y particularmente sobre las actividades de aprovechamiento de los recursos hidrobiológicos y de sus habitantes y cultura no se encuentra fácilmente disponible ya que forma parte de censos, informes o proyectos de desarrollo en instituciones gubernamentales o privadas cuyo acceso en algunos casos es restringido.

Esto, en conjunto con la ausencia o poca articulación entre instituciones y la insuficiente divulgación de información al público (cuando existe) ha originado que por un lado se repitan esfuerzos de investigación o compilación de la información, y que por otro la planificación y eventualmente la ejecución de estos planes sea ineficiente en la medida que la falta de articulación impide que los actores estén al tanto de qué está haciendo cada quien y tampoco se comunique efectivamente a la población. De esta manera es poco probable que se pueda concretar un abordaje efectivo de las comunidades para la atención de sus necesidades (desde las instancias propias del Estado y del Poder Popular) y la ejecución de políticas públicas, planes de manejo y cumplimiento de normativas y leyes.

Por último, y con base en algunas de las ideas de Robirosa (2002), se sugiere la necesidad de reorientar la planificación y gestión del territorio del estado, hacia un modelo de gestión multiactoral y participativo. Se aspira a que este nuevo modelo considere los siguientes aspectos: 1) articulación al interior de las estructuras estatales reconociendo la necesidad de

incrementar la compatibilidad y la coherencia de acción y discurso entre los actores pertenecientes al aparato gubernamental que participan en el escenario de planificación; 2) reconocimiento de la heterogeneidad del territorio y la complejidad de cada fenómeno evitando de esta forma los modelos homogéneos de gestión de todas las localidades y la generación de proyectos macro que den soluciones globales y extrapolables a nivel local; 3) el diálogo de saberes que se da al reconocer que un proceso de planificación es un fenómeno complejo que involucra a varios actores sociales, cada uno con su propia interpretación de la realidad. Fundamentados en esta premisa, en los escenarios de gestión se produce un diálogo de saberes entre distintos actores sociales, donde cada actor de forma más equitativa aporta sus conocimientos en la resolución del conflicto que se enfrenta o en la planificación de nuevas estrategias. Por último, y no menos importante, se hace necesario conjugar esfuerzos transfronterizos que permitan establecer estrategias comunes para la conservación de las cuencas hidrográficas compartidas en el territorio de varias naciones.

Agradecimientos

A Walterio Lanz (Escuela Popular de Piscicultura) y Leonardo Fernández, al equipo de “Venezuela Científica”, así como a todos los informantes y colaboradores por el apoyo logístico brindado durante los muestreos realizados en el estado Apure entre febrero y marzo de 2015. Los datos de pesca fueron suministrados por INSOPESCA y los datos meteorológicos e hidrométricos por el INAMEH. Agradecemos igualmente a María Daniela Mendoza por la elaboración de los diagramas de clima y ordenamiento. Nuria Martín elaboró el mapa y Grisel Velásquez proporcionó algunos rasters y capas temáticas para su construcción. El trabajo de campo fue financiado por el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) a través de fondos del proyecto #937 “Meiofauna y microfitobentos de las playas de arena e islas de los ríos Apure, Caura, Caroní y Orinoco”.

BIBLIOGRAFÍA

- Allan, J. D., Abell, R., Hogan, Z., Revenga, C., Taylor, B., Welcomme, R. L. y Winemiller, K. 2005. Overfishing of inland waters. *BioScience*. 55: 1041-1051.
- Allan, J. D. y Castillo, M. M. 2007. Stream Ecology. Structure and function of running waters. Segunda edición. Springer. The Netherlands.
- Álvarez-León, R., Gutiérrez-Bonilla, F., Rivas-Lara, T., González-Cañón, G. y Rincón-López, C. 2011. Especies introducidas y trasplantadas en las pesquerías, con énfasis en las tilapias (*Oreochromis niloticus* y *Oreochromis spp*) y las cachamas (*Colossoma macropomum* y *Piaractus brachypomum*). (pp. 201-230). En: Lasso, C. et al. (Eds.). *II. Pesquerías continentales de Colombia: cuencas del Magdalena-Cauca, Sinú, Canalete, Atrato, Orinoco, Amazonas y vertiente del Pacífico*. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia.
- Amodio, E. 2008. Los Hiwi (Guahibo). Notas sobre su situación presente y actualización bibliográfica. (pp. 333-361). En: Perera, M. A. (Ed.). *Los Aborígenes de Venezuela*. Volumen II. Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Instituto Caribe de Antropología y Sociología; Ediciones IVIC y Monte Ávila Editores, Caracas, Venezuela.
- A.P.H.A. 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, 21st Edition. Washington, D. C.
- Arocha, D. y Miranda, J. 2013. *Informe final: plan de abordaje Apure. Diagnóstico y evaluación del sector pesquero en el estado Apure*. Gerencia de Ordenación Pesquera, INSOPESCA, Caracas.
- Aymard, G., y González, V. 2007. Consideraciones generales sobre la composición florística y diversidad de los bosques de los Llanos de Venezuela. (pp: 59-71). En: Duno de Stefano, R., Aymard, G. y Huber, O. (Eds.). *Catálogo anotado e ilustrado de la flora vascular de los Llanos de Venezuela*. FUDENA, Fundación Empresas Polar, Fundación Instituto Botánico de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Barbarino, A. 2005. Aspectos biológicos y pesqueros de los bagres rayados *Pseudoplatystoma fasciatum* (Linnaeus 1766) y *P. tigrinum* (Valenciennes 1840) (Siluriformes: Pimelodidae) en la parte baja de los ríos Apure y Arauca, Venezuela. *Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*. 163: 71-91.
- Barbarino, A., Taphorn, D. C. y Winemiller, K. O. 1998. Ecology of the coporo, *Prochilodus mariae* (Characiformes: Prochilodontidae), and status of annual migrations in western Venezuela. *Environmental Biology of Fish*. 53: 33-46.
- Barletta, M., Jaureguizar, A. J., Baigun, C., Fontoura, N. F., Agostinho, A. A., Almeida-Val, V. M. F., Val, A. L., Torres, R. A., Jimenez-Segura, L. F., Giarrizzo, T., Fabré, N. N., Batista, V. S., Lasso, C., Taphorn, D. C., Costa, M. F., Chaves, P. T., Vieira, J. P. y Corrêa, M. F. M. 2010. Fish and aquatic hábitat conservation in South America: a continental overview with emphasis on neotropical systems. *Journal of Fish Biology*. 76: 2118-2176.
- Buroz, M. T. 2003. Etnobotánica y etnozoología de las comunidades indígenas de los llanos. (pp. 1-45). Proyecto: Conservación y uso Sostenible de la Biodiversidad en la Ecorregión de los Llanos. *Fundación para la Defensa de la Naturaleza (FUDENA)*. Caracas, Venezuela.
- Caballero-Arias, H. 2007. La Demarcación de Tierras Indígenas en Venezuela. *Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales*. 13(3):189-208.
- Calderón-Trejo, E. 1998. *Casas de Hacienda: Un caso de arquitectura vernácula en Mérida*. Mérida, Venezuela: Talleres Gráficos Universitarios, Universidad de Los Andes.
- Comerma, J. A. y Luque, O. 1971. Los principales suelos y paisajes del estado Apure. *Agronomía Tropical*. 21: 379-396.
- Correa, S. B., Araujo, J. K., Penha, J. M. F., Nunes da Cunha, C., Stevenson, P. R. y Anderson, J. T. 2015.

- Overfishing disrupts an ancient mutualism between frugivorous fishes and plants in Neotropical wetlands. *Biological Conservation*. 191: 159-167.
- Cotner, J. B., Montoya, J. V., Roelke, D. L. y Winemiller, K. O. 2006. Seasonally variable riverine production in the Venezuelan llanos. *Journal of the North American Bentho-Biological Society*, 25: 171-184.
- Cunill Grau, P. 1987. Cambios y Permanencias en el poblamiento llanero (Capítulo 9, Volumen III). (pp: 1947-2091). En: *Geografía del Poblamiento Venezolano en el Siglo XIX*. Ediciones de la Presidencia de la República. Caracas, Venezuela.
- Cunill Grau, P. 2009. *Los paisajes llaneros: De Rómulo Gallegos Al Porvenir*. Cátedra Rómulo Gallegos. Fundación Centro de Estudios Latinoamericanos Rómulo Gallegos.
- Di Pace, M. y Crojethovich, A. D. 1999. *La sustentabilidad ecológica en la gestión de residuos sólidos urbanos*. Instituto del Conurbano, Universidad Nacional de General Sarmiento.
- García, M. 2008. Especies de coleópteros ribereños (Insecta: Coleoptera) en Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*. 42: 255-268.
- Gassón, R. A. 2002. Orinoquia: the archaeology of the Orinoco River Basin. *Journal of World Prehistory*, 16(3): 237-311.
- Giere, O. 2009. *Meiobenthology. The microscopic motile fauna of aquatic sediments*. Segunda edición. Springer-Verlag. Berlín, Alemania.
- Hamilton, S. 2010. Biogeochemical implications of climate change for tropical rivers and floodplains. *Hydrobiologia*. 657: 19-35.
- Hauer, F. y Lamberti, G. A. 2007. *Methods in Stream Ecology*. Elsevier. Amsterdam.
- Hoeinghaus, D. J., Agostinho, A. A., Gomes, L. C., Pelicice, F. M., Okada, E. K., Latini, J. D., Kashiwaqui, E. A. L. y Winemiller, K. 2009. Effects of river impoundment on ecosystem services of large tropical rivers: embodied energy and market value of artisanal fisheries. *Conservation Biology*. 23: 1222-1231.
- Humphries, P. y Winemiller, K. O. 2009. Historical impacts on river fauna, shifting baselines, and challenges for restoration. *BioScience*. 59: 673-684.
- Infante, P. D. 2008. Estado Apure. (pp. 344-421). En: *Geografía Venezuela. Tomo 5 Geografía de la división político-territorial del país*. Fundación Empresas Polar. Caracas, Venezuela.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2011. XIV Censo Nacional de Población y Vivienda. Resultados Básicos. Total Nacional y Entidades Federales. (pp: 1-118). República Bolivariana de Venezuela.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2014. XIV Censo Nacional de Población y Vivienda. Resultados por Entidad Federal y Municipio del Estado Apure. Gerencia General de Estadísticas Demográficas. Gerencia de Censo de Población y Vivienda. (pp. 1-95). República Bolivariana de Venezuela.
- Junk, W. J., Bayley, P. B., y Sparks, R. E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences*. 106(1): 110-127.
- Junk, W. J. y Wantzen, K. M. 2004. The flood pulse concept: new aspects, approaches and applications-an update. (pp: 117-149) En: *Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries*. Food and Agriculture Organization and Mekong River Commission, FAO Regional Office for Asia and the Pacific.
- Lares-Bolívar, E. E. 2007. *Geografía descriptiva apureña*. Fundación editorial El Perro y la Rana. Caracas, Venezuela. 111 pp.
- Lasso, C. A. 2014. Tipología de aguas (blancas, claras y negras) y su relación con la identificación y caracterización de los humedales de la Orinoquia. (pp. 50-61). En: Lasso, C. A., Rial, A., Colonnello, G., Machado-Allison, A. y Trujillo, F. (Eds.). XI. *Humedales de la Orinoquia (Colombia-Venezuela)*. Serie Editorial Recursos Hidrobio-lógicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia.
- Lasso, C. A., Señaris, J. C., Lasso, O. y Castroviejo, J. 1995. Aspectos ecológicos de una comunidad de bagres (PISCES: SILUROIDEI) en los llanos inundables de Venezuela. *Acta Biológica Venezolana*. 16: 1-31.
- Lasso, C. A., Mojica, J. I., Usma, J. S., Maldonado-O., J. A., DoNascimento, C., Taphorn, D. C., Provenzano, F., Lasso-Alcalá, O. M., Galvis, G., Vásquez, L., Lugos, M., Machado-Allison, A., Royero, R., Suárez, C. y Ortega-Lara, A. 2004. Peces de la cuenca del río Orinoco. Parte I. Lista de especies y distribución por subcuencas. *Biota Colombiana*. 5: 95-158.
- Lasso, C. A., Usma, J. S., Trujillo, F. y Rial, A. (Eds.). 2010. *Biodiversidad de la Cuenca del Orinoco: bases científicas para la identificación de áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle e Instituto de Estudios de la Orinoquia (Universidad Nacional de Colombia). Bogotá, D. C., Colombia.
- Lasso, C. A., Rial, A., Colonnello, G., Machado-Allison, A. y Trujillo, F. (Eds.). 2014. XI. *Humedales de la Orinoquia (Colombia-Venezuela)*. Serie Editorial Recursos Hidrobio-lógicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia.
- Lasso-Alcalá, O., Lasso, C. A. y J. C. Señaris. 1998. Aspectos de la biología y ecología de la curvinata *Plagioscion squamosissimus* (Heckel, 1840) (Pisces: Sciaenidae), en los llanos inundables del estado Apure, Venezuela. *Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*. 58: 3-33.
- Layman, C. A., Winemiller, K. O. y Arrington, D. A. 2005. Describing the structure and function of a Neotropical river food web using stable isotopes, stomach contents, and functional experiments. (pp : 395-406). En: de Ruiter, P. C., Wolters, V. y Moore, J. C. (Eds.). *Dynamic Food Webs: Multispecies Assemblages, Ecosystem Development, and Environmental Change*. Elsevier, Amsterdam.
- Ley de Pesca y Acuicultura. 2008. *Decreto con rango, valor y fuerza de Ley de Pesca y Acuicultura*. Gaceta Oficial Extraordinaria N° 5.877 de la República Bolivariana de Venezuela del 14 de marzo de 2008.
- Lewis, W. M. Jr., Saunders III, J. F. y Dufford, R. 1990. Suspended organisms and biological carbon flux along the lower Orinoco River. (pp: 269-300). En: Weibe Zahnh, F. H., Alvarez, H. y Lewis, W. M. Jr. (Eds.). *El Río Orinoco*

- como Ecosistema*. Editorial Galac. Caracas, Venezuela.
- Lewis, W. M. Jr., Hamilton, S. K. y J. F. Saunders III. 1995. Rivers of Northern South America. (pp: 219-256). En: Cushing, C. y K. Cummins (Eds.). *Ecosystems of the World: Rivers*. Elsevier, New York.
- Lewis, W. M. Jr., Hamilton, S. K., Lasi, M. A., Rodríguez, M. A. y Saunders, J. F. III. 2000. Ecological determinism on the Orinoco floodplain. *BioScience*. 50: 681-692.
- Machado-Allison, A. 2005. *Los peces de los llanos de Venezuela. Un ensayo sobre su historia natural*. Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Caracas.
- Machado-Allison, A. y Bottini, B. 2010. Especies de la pesquería continental venezolana: un recurso natural en peligro. *Boletín de la Academia Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*. 70: 59-75.
- MARN. 1999. Bases para la formulación del plan del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Venezuela. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. Caracas, Venezuela.
- McIntyre, P. B., Jones, L. E., Flecker, A. S. y Vanni, M. J. 2007. Fish extinctions alter nutrient recycling in tropical freshwaters. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 104: 4461-4466.
- MEA. 2003. *Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment*. Millennium Ecosystem Assessment. World Resources Institute. Washington, DC, EEUU. 245 pp.
- Méndez, C., Moreno, M. C., Montoya, J. V., Felicien, A., Nikanova, N. y Buendía, C. 2017. Escenarios de cambio climático y la conservación de los ríos en Venezuela (pp: 173-188). En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.). *Ríos en riesgo de Venezuela. Vol. I. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela*. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Metzger, D. J. y Morey, R. V. 1983. Los Hiwi (Guahibo). (pp: 197-332). En: Coppens, W (Ed.). *Los Aborígenes de Venezuela. Volumen II*. Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Instituto Caribe de Antropología y Sociología/Monte Ávila Editores, Caracas.
- MinAmb. 2006. *Recursos hídricos de Venezuela*. Fundambiente, Ministerio del Ambiente. Caracas, Venezuela.
- Mitrani, P. 1988. Los Pume (Yaruro). (pp: 147-213). En: Coppens, W (Ed.). *Los Aborígenes de Venezuela. Volumen III*. Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Instituto Caribe de Antropología y Sociología/Monte Ávila Editores, Caracas.
- Montoya, J. V., Roelke, D. L., Winemiller, K. O., Cotner, J. B. y J. A. Snider. 2006. Hydrological seasonality and benthic algal biomass in a neotropical floodplain river. *Journal of the North American Benthological Society*. 25: 157-170.
- Montoya, J. V., Castillo, M. M. y L. Sánchez. 2011. La importancia de las inundaciones periódicas para el funcionamiento y conservación de los ecosistemas inundables de grandes ríos tropicales: Estudios en la cuenca del Orinoco. *Interciencia*. 36: 900-907.
- Montoya, J. V., Pérez, B. y Mendoza, M. D. 2013. Primer registro para Venezuela de *Asthenopus angelae* (De Souza & Molineri 2012) (Ephemeroptera: Polymitarcyidae) y características de su hábitat. *Entomotropica*. 28: 51-60.
- Montoya, J. V., Arrington, D. A. y Winemiller, K. O. 2014. Seasonal and diel variation of shrimp (Crustacea, Decapoda) on sandbanks of a tropical floodplain river. *Journal of Natural History*. 48: 557-574.
- Mora, A., Baquero, J. C., Alfonso, J. A., Pisapia, D. y Balza, L. 2010. The Apure River: geochemistry of major and selected trace elements in an Orinoco River tributary coming from the Andes, Venezuela. *Hydrological Processes*. 24: 3798-3810.
- Morey, R. V. 1969. Guahibo linguistic classifications. *Anthropological Linguistics*. 11(1): 16-23.
- MPPEA. 2016. *Memoria 2015*. Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas. República Bolivariana de Venezuela.
- Nico, L. G., Schaeffer, D. J., Taphorn, D. C. y Barbarino, A. 1994. Agricultural chemical screening and detection of chlorpyrifos in fishes from the Apure drainage, Venezuela. *Fresenius Environmental Bulletin*. 3: 685-690.
- Novoa, D. F. y Ramos, F. 1978. *Las pesquerías comerciales del río Orinoco*. Corporación Venezolana de Guayana, Caracas.
- Novoa, D. F. 2002. *Los recursos pesqueros del eje fluvial Orinoco-Apure: presente y futuro*. Ministerio de Agricultura y Tierras, INAPESCA. Caracas.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Michin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E. y Wagner, H. 2016. Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.4-1. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Pacheco, C., Aguado, I., Vilanova, E., y Martínez, S. 2012. Utilización de las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) en el desarrollo de un sistema de Medición, Reporte y Verificación (MRV) de emisiones de CO₂ en tres áreas “hot spot” de deforestación en Venezuela. (pp: 151-161). En: *Memorias XV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*. AGE-CSIC. Madrid, España.
- Pacheco, C. E., Aguado, M. I., y Mollicone, D. 2014. Identification and characterization of deforestation hot spots in Venezuela using MODIS satellite images. *Acta Amazonica*. 44(2): 185-196.
- Pérez, A. 2009. La pesca comercial en las sabanas inundables del río Apure: La radiografía de un absurdo. *Acta Apurequía*. 1: 96.
- Pérez, A., Barbarino, A., Castillo, O. y Fabré, N. 2011. Hacia un manejo pesquero integral en la cuenca del río Apure, Venezuela. *Interciencia*. 36: 463-470.
- Pérez, A., Castillo, O., Barbarino, A. y Fabré, N. 2012. Aspectos reproductivos del bagre rayado *Pseudoplatystoma tigrinum* (Siluriformes, Pimelodidae) en la cuenca del río Apure, Venezuela. *Zootecnia Tropical*. 30: 251-262.
- Pérez, A. y Barbarino, A. 2013. Parámetros poblacionales de los principales recursos pesqueros de la cuenca del río Apure, Venezuela (2000-2003). *Latin American Journal of Aquatic Research*. 41: 447-458.
- Pérez-Lecuna, R. 2013. Recuento histórico de la difusión del río Arauca sobre su margen derecha, conocida como la Fuga Bayonero. *Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat*, 13: 43-76.
- Petts, G. E. 1990. Regulation of large rivers: problems and possibilities for environmentally-sound river develop-

- ment in South America. *Interciencia*, 15: 388-395.
- Pinedo, D. y Soria, C. 2008. *El Manejo de las pesquerías en ríos tropicales de Sudamérica*. Centro de Investigaciones para el Desarrollo, Ottawa, Canadá e Instituto del Bien Común, Perú.
- Ramia, M. 1962. Datos etnobotánicos sobre los Yaruro. *Acta Biológica Venezuela*, 3(9): 41-47.
- Ramia, M. 1967. Tipos de sabana en los llanos de Venezuela. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales*, 27: 264-288.
- Reid, S. 1983. La biología de los bagres rayados *Pseudoplatystoma fasciatum* y *P. tigrinum* en la cuenca del río Apure, Venezuela. *Revista UNELLEZ de Ciencia y Tecnología*, 1: 13-41.
- Rial, A. 2007. Flora y vegetación acuática de los llanos de Venezuela, con especial énfasis en el humedal de los llanos de Apure. (pp: 99-105). En: Duno de Stefano, R., Aymard, G. y Huber, O. (Eds.). *Flora vascular de los llanos de Venezuela*. FUDENA, Fundación Empresas Polar, Fundación Instituto Botánico de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Rial, A., Lasso, C. y Ayarzagüena, J. 2010. Efectos en la ecología de un humedal de los llanos de Venezuela (cuenca del Orinoco) causados por la construcción de diques. (pp: 417-431). En: Lasso, C. Usma, J. S., Trujillo, F. y Rial, A. (Eds.). *Biodiversidad de la cuenca del Orinoco: bases científicas para la identificación de áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle e Instituto de Estudios de la Orinoquia (Universidad Nacional de Colombia). Bogotá, D. C., Colombia.
- Robirosa, M. 2002. La participación en la gestión: Justificación, malos entendidos, dificultades y estrategias. *Revista Mundo Urbano*, 18.
- Rodríguez, J. N. 1998. "Proyecto Sucre". ¿Una política de Estado para la frontera venezolana? *Aldea Mundo*, Mayo-Octubre 1998: 43-51.
- Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. 2015. *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. Cuarta Edición. Provita y Fundación Empresas Polar. Caracas, Venezuela. Recuperado: <http://animalesamenazados.provita.org.ve>.
- Rodríguez, M. A., Winemiller, K. O., Lewis, W. M. Jr. y Taphorn, D. C. 2007. The freshwater habitats, fishes, and fisheries of the Orinoco River basin. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 10: 140-152.
- Roelke, D. L., Cotner, J. B., Montoya, J. V., Del Castillo, C. E., Davis, S., Snider, J., Gable, G. y Winemiller, K. O. 2006. Optically determined sources of allochthonous organic matter and metabolic characterizations in a tropical oligotrophic river and associated lagoon. *Journal of the North American Bentholological Society*, 25: 185-197.
- Ruffino, M. L. 2014. Status and trends of the fishery resources of the Amazon Basin in Brazil. (pp: 1-19). En: Welcomme, R. L., Valbo-Jorgensen, J. y Halls, A. S. (Eds.). *Inland fisheries evolution and management - case studies from four continents*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 579. Rome, FAO.
- Sainz-Borgo, J. C. y Fernández, J. 2017. El derecho internacional fluvial y los ríos transfronterizos de Venezuela: casos Carraipía-Paraguachón, Arauca y Barima (pp: 221-236). En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.). *Ríos en riesgo de Venezuela. Vol. I. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela*. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Sarmiento, G. y Pinillos, M. 2001. Patterns and processes in a seasonally flooded tropical plain: the Apure Llanos, Venezuela. *Journal of Biogeography*, 28: 985-996.
- Saturno, S. 2014. *La etnoecología y ecología histórica de la agricultura entre los Pume*. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al Título de Magister Scientiarum, mención Antropología. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (I.V.I.C.). Centro de Estudios Avanzados. Altos de Pipe.
- Saunders, J. F. III y Lewis, W. M. Jr. 1988a. Transport of phosphorous, nitrogen, and carbon by the Apure River, Venezuela. *Biogeochemistry*, 5: 323-342.
- Saunders, J. F. III y Lewis, W. M. Jr. 1988b. Zooplankton abundance and transport in a tropical white-water river. *Hydrobiologia*, 162: 147-155.
- Saunders, J. F. III y Lewis, W. M. Jr. 1989. Transport of major solutes and the relationship between solute concentrations and discharge in the Apure River, Venezuela. *Biogeochemistry*, 8: 101-113.
- Señaris, C. y C. Lasso. 1993. Ecología alimentaria y reproductiva de la mojarra de río *Caquetaia kraussii* (Steindachner 1878) (Pisces; Cichlidae) en los llanos inundables de Venezuela. *Publicaciones de la Asociación de Amigos de Doñana*, 2: 1-58.
- Silva León, G. 2005. La cuenca del río Orinoco: visión hidrográfica y balance hídrico. *Revista Geográfica Venezolana*, 46: 75-108.
- Sioli, H. 1975. Tropical rivers as expressions of their terrestrial environment. (pp: 275-288). En: Golley, F. y Medina, E. (Eds.). *Tropical Ecological Systems. Trends in Terrestrial and Aquatic Research*. Springer-Verlag, New York.
- Spencer, C., and Redmond, E. 1998. Prehispanic causeways and regional politics in the Llanos of Barinas, Venezuela. *Latin American Antiquity*, 9(2): 95-110.
- Takeuchi, Y., Takezawa, M. y H. Gotoh. 2007. Environmental impact assessment in the Apure River. *WIT Transactions on the Ecology and the Environment*, 104: 435-446.
- Tamayo, F. 1972. *Los llanos de Venezuela*. Monte Ávila Editores, Caracas, Venezuela.
- Taphorn, D. C. 1992. The characiform fishes of the Apure river drainage, Venezuela. *Biollania*. Edición especial 4. 537 p.
- Taphorn, D. y Barbarino, A. 1993. Evaluación de la situación actual de los pavones, (*Cichla* spp), en el Parque Nacional Capanaparo-Cinaruco, Estado Apure, Venezuela. *Natura*, 96: 10-25.
- Taylor, B. W., Flecker, A. S. y Hall Jr., R. O. 2006. Loss of a harvested fish species disrupts carbon flow in a diverse tropical river. *Science*, 313: 833-836.
- Thomaz, S. M., Bini, L. M. y R. L. Bozelli. 2007. Floods increase similarity among aquatic habitats in riverfloodplain systems. *Hydrobiologia*, 579: 1-13.
- Thorp, J. H. y Delong M. D. 1994. The riverine productivity model: an heuristic view of carbon sources and organic processing in large river ecosystems. *Oikos*, 70:

- 305-308.
- Thorp, J. H. y Delong M. D. 2002. Dominance of autotrophic carbon in food webs of heterotrophic rivers. *Oikos*. 96: 543–550.
- Toledo, V. M. 2005. Repensar la conservación: ¿áreas naturales protegidas o estrategia bioregional? *Gaceta ecológica*. 77:67-82.
- Tricart, J. 1974. Existence de périodes sèches au quaternaire en Amazonie et dans les régions voisines. *Revue de Geomorphologie Dynamique*. 23: 145-158.
- Valero-Martínez, M. 2008. Dinámicas urbanas en las fronteras de Venezuela. *Somanlu*. 8(2): 37-57.
- Welcomme, R. L. 1979. *Fisheries ecology of floodplain rivers*. Longman. London.
- Winemiller, K., Marrero, C. y D. Taphorn. 1996. Perturbaciones causadas por el hombre a las poblaciones de peces de los llanos y del piedemonte andino de Venezuela. *Biollanía*. 12: 13-48.
- Winemiller, K. O., y Jepsen, D. B. 1998. Effects of seasonality and fish movement on tropical river food webs. *Journal of Fish Biology*. 53: 267-296.
- Winemiller, K. O. y Jepsen, D. B. 2004. Migratory neotropical fish subsidize food webs of oligotrophic blackwater rivers (pp: 115-132). En: Polis, G. A., Power, M. E. y Huxel, G. R. (Eds.). *Food webs at the landscape level*. University of Chicago Press. Chicago, EEUU.
- Winemiller, K. O., Montoya, J. V., Roelke, D. L., Layman, C. A. y Cotner, J. B. 2006. Seasonally varying impact of detritivorous fishes on the benthic ecology of a tropical floodplain river. *Journal of the North American Benthological Society*. 25: 250-262.
- Winemiller, K. O., Montaña, C., Roelke, D. L., Cotner, J. B., Montoya, J. V., Sánchez, L., Castillo, M. M. y Layman, C. 2014. Pulsing hydrology determines top-down control of basal resources in a tropical river-floodplain ecosystem. *Ecological Monographs*. 84: 621-635.



Solapadas por la tupida vegetación -pero acaso más por la costumbre y el olvido- las pequeñas quebradas a la vera de industrias y pueblos no delatan su terrible presagio, como esta corriente en los llanos altos de Barinas (fotografía de D. Rodríguez-Olarte).

El Bajo Orinoco: aspectos hidrosedimentológicos, geoquímicos e influencia antrópica

Abrahan MORA¹, Alain LARAQUE², José Luis LÓPEZ³

1. Centro del Agua para América Latina y el Caribe. Tecnológico de Monterrey. Av. Eugenio Garza Sada Sur N° 2501, CP 64849 Monterrey, Nuevo León, México.
abrahanmora@itesm.mx
2. GET - UMR CNRS / IRD / UPS – UMR 5563 du CNRS, UR 234 de l'IRD; OMP 14 Avenue Edouard Belin; 31400 Toulouse, Francia.
alain.laraque@ird.fr
3. Instituto de Mecánica de Fluidos. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Los Chaguaramos, Caracas, Venezuela.
lopezjoseluis7@gmail.com

En este capítulo se discute sobre la geomorfología del cauce principal del bajo Orinoco, la dinámica del sedimento total suspendido, las variaciones de sus flujos entre los períodos 1975-1985 y 2006-2010, y la geoquímica de elementos mayoritarios y traza entre los años 2003-2008 y 2007-2008, respectivamente. Cálculos recientes del flujo del material suspendido indicaron un menor valor del flujo de la carga suspendida del Orinoco (74×10^6 t/año), en comparación a los valores reportados durante el período 1975-1985 (entre 90×10^6 y 150×10^6 t/año). Esta diferencia podría ser explicada en parte por el impacto generado por las represas hidroeléctricas construidas en las faldas de la Cordillera de los Andes. Las series de caudales disponibles mostraron que el río Orinoco en Ciudad Bolívar posee un caudal promedio anual de $32.700 \text{ m}^3/\text{s}$ y una baja variabilidad interanual (1,66). Sin embargo, existe una alta variación estacional durante el ciclo hidrológico en los caudales (caudales mensuales máximo/mínimo = 37,2) y en los flujos del material en suspensión. Los patrones de concentración de los elementos mayoritarios disueltos (Na, Ca y Mg) indicaron que el contenido de estos elementos está controlado por un proceso de dilución. Sin embargo, la variación temporal de la concentración de Si y K puede ser influenciada por procesos biológicos. La solubilidad de algunos elementos traza disueltos (Fe, Mn, Zn, Cu, Cr) en el bajo Orinoco se encuentra determinada por ciertas variables como el pH, el potencial redox del sistema y posiblemente por el carbono orgánico disuelto. A pesar que las obras de ingeniería y diversas actividades como la agricultura han afectado ciertos sectores del bajo Orinoco, los estudios aquí realizados demostraron el buen estado de conservación del río Orinoco en su sección baja. Esto se debe principalmente a su alto caudal, el cual diluye la mayoría de los contaminantes que son aportados por las diversas actividades antropogénicas.

Palabras Clave: río Orinoco, caudales, flujos, sedimentos, elementos mayores, elementos traza, conservación.

INTRODUCCIÓN

Hasta su desembocadura en el océano Atlántico, la cuenca del río Orinoco cubre un área total que supera los 1×10^6 km², mientras que el río muestra un caudal promedio interanual de 37.600 m³/s (Córdova 1999, Silva 2005). Según el área de la cuenca y la descarga, la variabilidad temporal de los flujos de material disuelto y en suspensión podría proporcionar importantes indicadores del cambio climático y del impacto humano, especialmente si la cuenca de este río ha sido relativamente poco alterada por las actividades humanas. Desde hace tres décadas, los aspectos hidrosedimentarios y geoquímicos del Orinoco han sido estudiados ampliamente (e.j. Meade et al. 1983, 1990, Nordin y Meade 1985, Stallard 1985, 1987, Paolini et al. 1987, Lewis y Saunders 1989, Stallard et al. 1990, Weibezahn 1990, Meade 1994, Nordin et al. 1994, Pérez-Hernández y López 1998, Millán et al. 2001, Márquez 2011, Mora 2011). Aunque estos estudios han trabajado aspectos como la carga de sedimento en suspensión aportada por el Orinoco al océano Atlántico, las formas sedimentarias terrestres y fluviales en las llanuras de inundación, el transporte de carga de fondo y la variación temporal de algunos parámetros fisicoquímicos, la mayoría de estos trabajos han sido generalmente realizados usando sólo uno o dos ciclos hidrológicos y/o haciendo muestreos irregulares y de baja frecuencia. Por consiguiente, estos valores deben ser actualizados tomando en cuenta series temporales que incluyan una mayor frecuencia en la recolección de datos durante varios ciclos hidrológicos. Debido a la necesidad de actualizar los aspectos mencionados, este trabajo tuvo como objetivo, actualizar la información sobre los flujos de material suspendido y disuelto y la variabilidad espacio-temporal de elementos mayoritarios y trazas en el bajo Orinoco, considerando aspectos hidrosedimentológicos, geomorfológicos y geoquímicos del bajo Orinoco, que se extiende desde la confluencia con el río Apure hasta la desembocadura en el Delta del Orinoco (Silva 2005).

La cuenca del río Orinoco

La cuenca del Orinoco (Figura 1) está ubicada en el norte de América del Sur, entre 02° y 09°N y 75° y 62°O. El 70% del área de la cuenca se encuentra en Venezuela y el 30% en Colombia (Silva 2005). Las cabeceras del Orinoco se encuentran a 1.047 msnm en el Cerro Delgado Chalbaud y la longitud de su cauce principal es de unos 2.140 km (Silva 2005). La cuenca comprende tres grandes zonas fisiográficas: los Andes y la Cordillera de la Costa, los Llanos y el Escudo de Guayana. La geomorfología fluvial del río Orinoco presenta patrones de características mixtas

entre trenzada y ligeramente sinuosa. El cauce principal trenzado se desarrolla en zonas de expansión de flujo, localizadas principalmente aguas abajo de la confluencia con el río Apure, que se caracterizan por numerosos bancos de arena e islas que dividen el flujo en varios canales (López y Pérez-Hernández 1999). El año hidrológico para el bajo Orinoco en su principal estación de aforo en Ciudad Bolívar (Figura 1) se inicia en abril y se caracteriza por un régimen unimodal donde las crecidas son entre agosto-septiembre y el estiaje entre febrero-abril (Figura 2). En esta estación de aforo la amplitud entre las aguas bajas y altas alcanza los 16 m.

MATERIALES Y MÉTODOS

Determinación de caudales, carga de sedimentos, carga disuelta y flujos. En la estación de Ciudad Bolívar fluyen las aguas que discurren por un 83,6% de la superficie total de la cuenca del Orinoco. Esta estación hidrológica con curva de gasto tiene la serie más larga de datos de caudal de toda la cuenca del Orinoco. De hecho, desde 1926 los niveles del río han sido registrados diariamente por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). Las curvas de gasto han sido desarrolladas por INAMEH y por la Universidad Central de Venezuela (UCV) en Puente Angostura, justo aguas arriba de Ciudad Bolívar, a través de aforos con correntímetros tradicionales. Por lo tanto, los datos de caudal usados en este estudio provienen de Córdova (1999) y de la base de datos del INAMEH. A partir de análisis estadísticos de las series de caudales del Orinoco, se buscaron segmentos homogéneos separados por discontinuidades (se define discontinuidad como un cambio en las características de la probabilidad de la serie de tiempo en un punto dado en el tiempo) (Figura 3). La no-estacionalidad se define por la existencia de una singularidad representada por un cambio en la media (Aka et al. 1996). Los métodos utilizados aquí incluyeron la prueba de Pettitt (1979), estadística de U Buishand (Buishand 1982), el procedimiento bayesiano de Lee y Heghinian (1977) y la prueba de segmentación de Hubert (Hubert et al. 1989).

Se tomaron muestras de agua (en la superficie y lecho del río) en diversos sectores distribuidos a lo largo del bajo Orinoco (Figura 1) para determinar la composición granulométrica de los sedimentos en los sectores estudiados. De manera similar, el observatorio ORE-Hybam recolectó durante cuatro años (2007-2010) un total de 143 muestras de agua (0,5 l) a 30 cm de profundidad en el medio de la sección del río en la estación de Ciudad Bolívar, con una frecuencia de tres veces por mes (cada diez días) para la determinación de los sólidos suspendidos totales

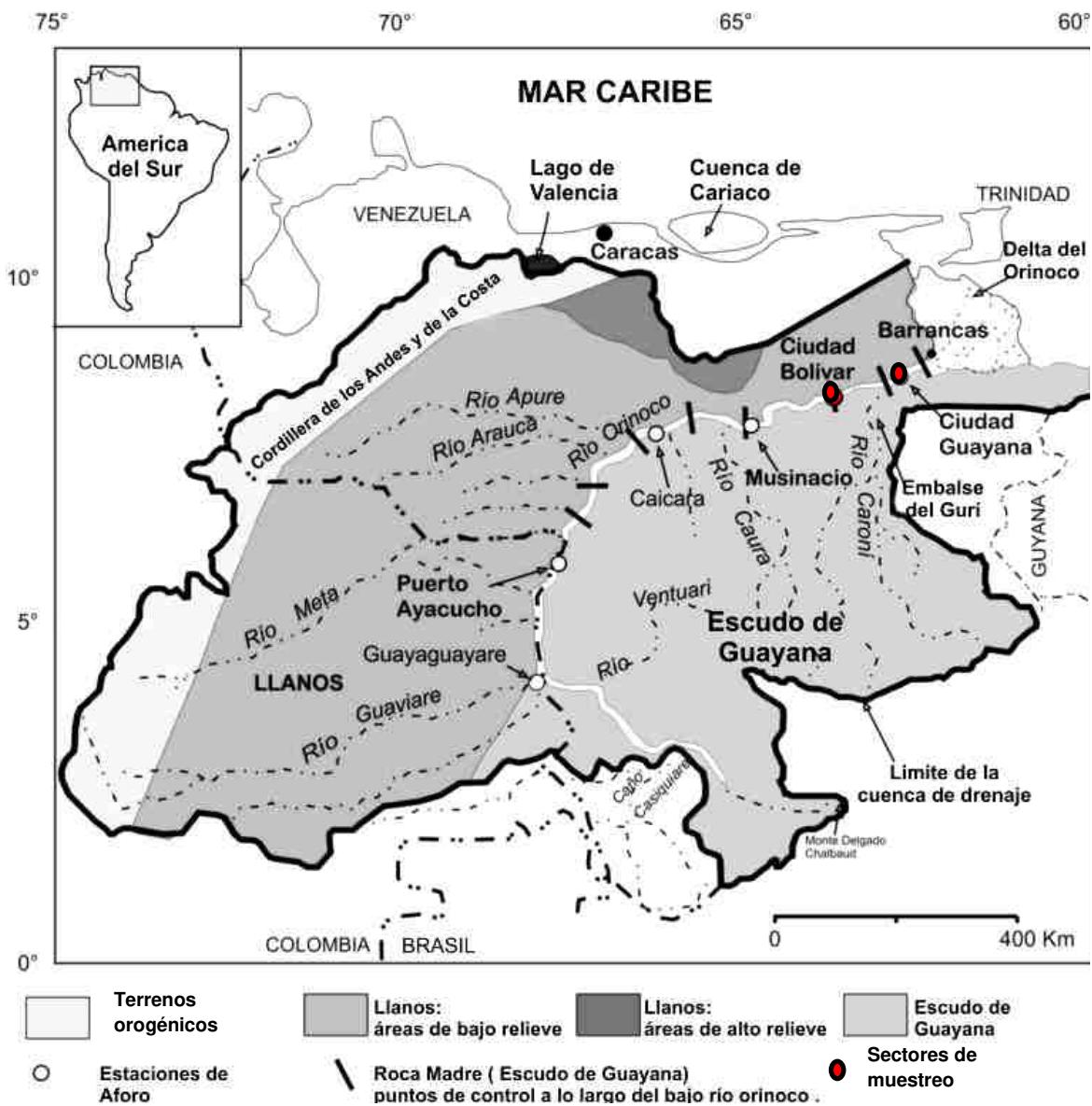


Figura 1. Cuenca del río Orinoco (adaptado de Warne et al. 2002).

(SST) y una vez por mes para el estudio de las cargas disueltas. Se utilizaron filtros pre-pesados de acetato de celulosa de 0,45 µm para determinar la concentración de sólidos totales disueltos (STD) y SST y filtros pre-pesados GFF de 47 mm de diámetro para determinar la concentración de carbono orgánico disuelto (COD). Las filtraciones se hicieron en el laboratorio de la UNEG en Ciudad Guayana. Las muestras de agua para determinar las concentraciones de STD y COD fueron enviadas al laboratorio GET/UPS en Toulouse (Francia). Los aniones mayoritarios fueron determinados por cromatografía iónica, mientras que los macro y micro elementos (Na, K, Ca, Mg, Si, Fe, Al, Mn, Ti y P) fueron determinados por ICP-OES. Para los análisis de COD, se empleó el

método de oxidación catalítica a alta temperatura. En la estación de Ciudad Bolívar se realizaron diez aforos sólidos en diferentes etapas del ciclo hidrológico. El procedimiento fue el siguiente: primero se realizó un aforo líquido mediante un ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), el cual calcula la descarga de agua mediante la transmisión de ondas acústicas que son reflejadas por el material en suspensión y son nuevamente captadas por el equipo (Filizola y Guyot 2004). Luego, durante el aforo líquido, se realizó un muestreo del material suspendido en nueve sectores de la sección, correspondientes a profundidades (superficie, medio, fondo) ubicadas en tres verticales situadas a 25, 50 y 75% de la sección transversal del río (ver metodología descrita en Filizola y Guyot (2004)

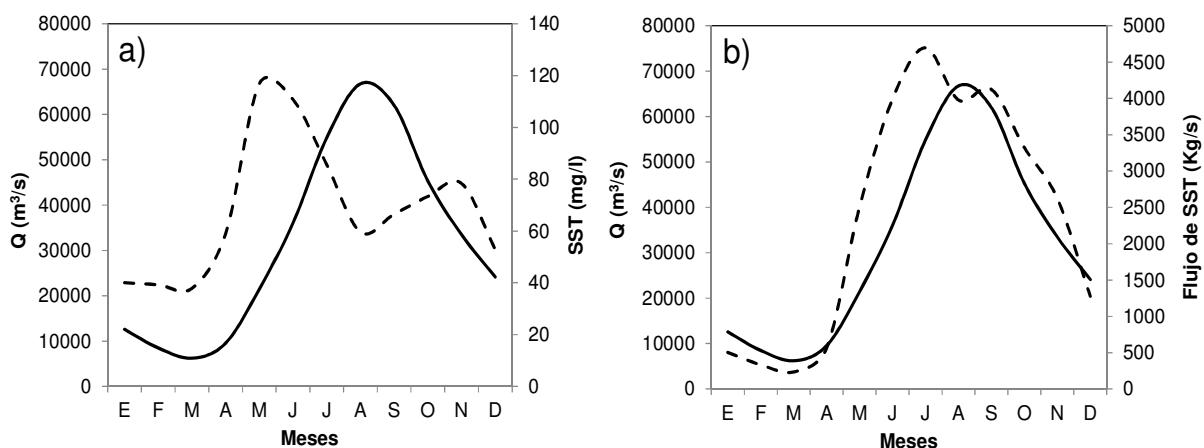


Figura 2. Variación del caudal promedio mensual (Q - línea continua), de las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST - línea punteada) (a) y de los flujos de los SST (b) para el río Orinoco en Ciudad Bolívar durante el período 2007-2010 (Laraque et al. 2013a).

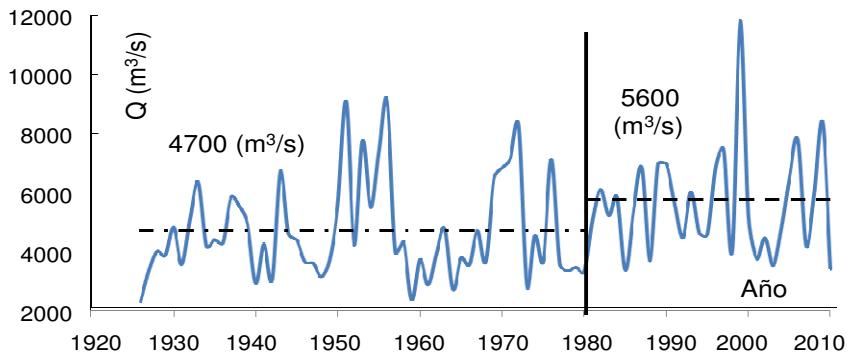


Figura 3. Fases homogéneas de flujo líquido, determinadas a partir de las series de tiempo de caudal mínimo mensual (1926–2010) para el río Orinoco en Ciudad Bolívar. Los caudales medios interanuales para cada fase homogénea de flujo son indicados por las líneas segmentadas (Laraque et al. 2013a).

(2004) y www.ore-hybam.org). No fue posible muestrear los SST con la misma frecuencia diaria con la que se realizó la lectura del caudal del río, por lo cual las frecuencias de muestreo de los SST fueron adaptadas a la variabilidad temporal de los SST durante el año hidrológico para optimizar el cálculo de los flujos. Los trabajos anteriormente publicados sobre los flujos sedimentarios en el Orinoco han sido realizados con datos de SST tomados mensual o quincenalmente. Sin embargo, como los SST poseen un régimen bimodal con alta variabilidad en sus concentraciones (Figura 2a), los datos de SST tomados cada diez días proporcionan un estimado mucho más confiable del flujo de sedimentos.

Ya que el régimen de sedimentos del río Orinoco no es sincrónico con su régimen hidrológico, la ausencia de una conexión clara entre los mismos anula la posibilidad de usar la función $SST = f(Q)$ para calcular

el flujo de sedimentos (Laraque et al. 2013a). Además, como los regímenes hidrológicos son relativamente uniformes y carecen de eventos de tipo crecida repentina, los valores diarios de concentración de SST entre los intervalos de diez días de muestreo fueron estimados usando el software Hydraccess versión 4.6 (www.ore-hybam.org), basado en una interpolación lineal entre dos muestras. Esto se realizó multiplicando los valores de concentración por el caudal diario, proveyendo un estimado diario del flujo de material en suspensión. La concentración media mensual y anual de SST fue calculada dividiendo la carga correspondiente de SST entre el caudal mensual y anual, respectivamente (Laraque et al. 2009).

Elementos mayoritarios y trazas

Para determinar la variación temporal de elementos mayoritarios (Na, K, Ca, Mg y Si) y traza (Al, Fe, Mn,

Zn, Cu y Cr) en el bajo Orinoco, se recolectó mensualmente una muestra de agua superficial a la altura de Puente Orinokia en Ciudad Guayana (Figura 1) entre enero 2003 y agosto 2008 para los elementos mayoritarios y entre junio 2007 y agosto 2008 para los elementos traza. Durante la colecta de muestras se determinó el pH y el oxígeno disuelto del agua a través de electrodos precalibrados.

Las muestras de agua para la determinación de los elementos mayores fueron filtradas a través de membranas de acetato de celulosa de 0,45 µm de diámetro de poro, mientras que las muestras para determinar los elementos traza fueron filtradas empleando membranas de 0,22 µm de diámetro de poro. Todas estas muestras fueron preservadas con ácido nítrico y almacenadas a 4 °C. Se determinaron los elementos Na, K, Ca, Mg y Si por espectrofotometría de absorción atómica (EAA) con un espectrofotómetro GBC Avanta, mientras que los elementos Al, Fe, Mn, Zn, Cu y Cr fueron determinados por EAA mediante atomización electrotérmica con horno de grafito (GF 3000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Granulometría y transporte de sedimentos

El lecho del bajo Orinoco está compuesto principalmente por arenas. La Figura 4 presenta la distribución de los tamaños de sedimentos para dos muestras tomadas del material en suspensión y del material del lecho, en noviembre del 2014, en el sector Aramaya, a unos 20 km aguas abajo de Ciudad Guayana. La muestra del lecho indicó un diámetro D_{50} de 0,35 mm (sugiere que el 50 % en peso del sedimento es menor a ese tamaño), en el intervalo de arenas finas con un cierto contenido de grava (20%) y ausencia de material fino (limos y arcillas). El material suspendido presentó mayoritariamente limos y arcillas

con un bajo contenido de arenas (12%), siendo el D_{50} igual a 0,02 mm. La Figura 5 muestra la variación espacial, a lo largo del cauce del medio y bajo Orinoco, del diámetro D_{50} de los sedimentos del lecho, relativos a muestras tomadas entre Puerto Ayacucho (km 1.180) y la boca del Orinoco (km 0, correspondiente al vértice o ápice del delta) en diferentes campañas de mediciones (Millán et al. 2001).

A diferencia de lo que sucede en los ríos aluviales, no se observó una reducción del tamaño medio de los sedimentos del lecho con la distancia aguas abajo en el curso del cauce principal del río en el tramo considerado. El valor del D_{50} estuvo entre 0,20 y 0,60 mm para la mayor parte del tramo analizado, excepto entre las progresivas 0 y 100 km, donde el diámetro D_{50} se redujo significativamente. El efecto de remanso que el Orinoco ejerce sobre los principales tributarios que provienen de los Llanos, impide que estos suministren los mayores tamaños de su carga sólida al Orinoco, siendo esto una de las causas de la ausencia de gravas en cantidades significativas en el cauce del Orinoco.

De acuerdo al mecanismo de transporte, los sedimentos pueden viajar como carga de fondo (partículas que están siempre en contacto con el lecho) o en suspensión (partículas sostenidas por la turbulencia). Las partículas más finas viajan siempre suspendidas por el flujo, lo que se conoce como carga lavada. Al transporte de las partículas del lecho, que pueden viajar como carga de fondo o carga suspendida, se le llama carga del material de fondo. En el río Orinoco, la carga lavada está compuesta fundamentalmente por los limos y arcillas, y la carga del material de fondo es compuesta principalmente por arenas. Estudios de Millán y López (2004) indican que la carga de fondo es muy variable con el caudal líquido y representa entre 1 y 8% de la carga total de sedimentos. Para el

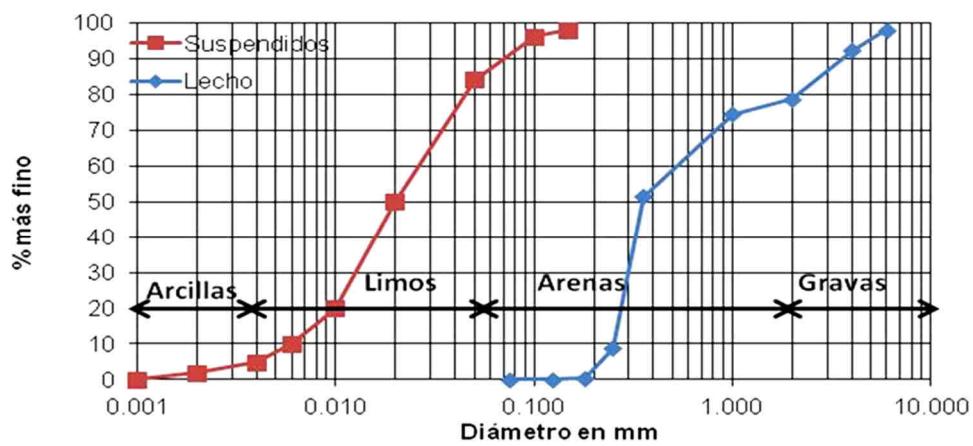


Figura 4. Curvas granulométricas de sedimentos suspendidos y del fondo del Orinoco en el sector Aramaya, tomada en noviembre 2014.

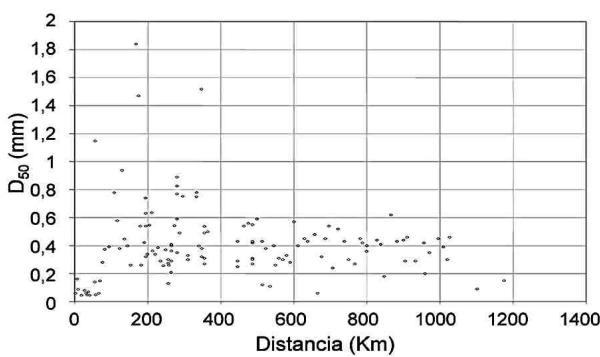


Figura 5. Variación longitudinal del diámetro medio de los sedimentos del lecho a lo largo del cauce del río entre Puerto Ayacucho y la boca del Orinoco.

caudal medio del Orinoco en San Félix ($37.600 \text{ m}^3/\text{s}$), el porcentaje de partículas que viaja como carga de fondo es de 3,5% de la carga total, mientras que el 96,5% restante viaja en suspensión. Por otro lado, de acuerdo al origen del sedimento, la carga de material de fondo está en el orden de un 30% y la carga lavada en un 70%. Los mayores aportadores de sedimentos al río Orinoco son los tributarios que confluyen por su margen izquierda y que drenan el flanco este de Los Andes y los Llanos occidentales. La Tabla 1 presenta los caudales medios y acarreos anuales sedimentarios de los principales tributarios del Orinoco. Aunque las aguas del Orinoco provienen aproximadamente por partes iguales de los Andes y del Escudo de Guayana, la mayor parte del sedimento proviene de los Andes, en particular de los ríos Guaviare, Meta y Apure, que aportan el 85 o 90% del total (Meade et al. 1990).

Las planicies inundables

La mayor parte de la planicie inundable del bajo Orinoco se extiende por su margen izquierda, observándose innumerables lagunas rebalseras, algunas tan grandes como la laguna de Mamo (Colonnello 1990), con un área superficial de 18 km^2 , que interactúa con el flujo del Orinoco recibiendo sus cargas de agua y sedimentos en el período de ascenso del hidrograma, a través de caños que están secos en aguas bajas y se llenan en aguas altas, y que posteriormente invierten el sentido de la corriente para regresar sus cargas hidrosedimentarias al Orinoco en el período de recepción del hidrograma. Las planicies sirven como amortiguadoras de las crecientes del río y al mismo tiempo como almacenadoras de una parte de la carga de sedimentos (material fino) que se desborda sobre las márgenes y es transportado por los múltiples y pequeños caños difluentes. No existen estudios detallados que determinen los volúmenes de sedimentos que el río Orinoco transfiere a las planicies fluviales,

pero es indudable que es un factor importante que debe ser tomado en cuenta para estimar el transporte anual y los balances de masa en el sistema fluvial.

Las configuraciones del fondo

En el período de aguas bajas son más visibles las grandes configuraciones que adopta el lecho del bajo Orinoco, constituidas, además de las islas, por dunas y barras o bancos de arena. Las dunas tienen usualmente alturas entre 2 y 3 m y longitudes cercanas a los 100 m. El material sedimentario está compuesto por arenas con diámetros entre 0,1 mm y 0,6 mm. Las dunas se superponen a grandes barras de arena, las cuales son configuraciones de mayor tamaño y pueden extenderse transversal y longitudinalmente por largas distancias, alcanzando más de 1 km a lo ancho del cauce y hasta varios kilómetros a lo largo del mismo. Las barras centrales se generan usualmente en zonas de expansión del flujo, donde este pierde su capacidad de transporte debido a la reducción de la velocidad, induciendo a la sedimentación del material arrastrado. Estas barras pueden convertirse en islas con el transcurrir del tiempo, mientras que las barras de punta se forman en las convexidades de las curvas. El origen de las barras de punta se asocia con la presencia de la corriente secundaria en los tramos curvos del río, donde el flujo erosiona la margen externa o cóncava y sedimenta la margen interna o convexa.

Las configuraciones del fondo son dinámicas y en continua evolución. Durante las crecientes, el arrastre del material de fondo hace que las dunas migren sobre la superficie de las barras hacia aguas abajo, hasta depositar su carga de sedimentos en el extremo de estas. La velocidad de propagación de las dunas ha sido estimada en aproximadamente 10 m/día , mientras que la de las barras laterales o centrales, en algunos sectores, ha sido estimada en el orden de entre $0,5$ y 1 m/día (Marcucci 1989). Mayor estabilidad se observa en las barras puntuales. El viento parece ser también un factor importante en erosionar las barras

Tabla 1. Caudales medios y acarreos anuales de los principales tributarios del río Orinoco (Meade et al. 1990).

Río	Caudal medio (m^3/s)	Transporte anual de sedimentos (10^6 ton/año)
Ventuari	2.000	1
Guaviare	8.000	25-30
Meta	4.500	80
Apure	2.300	20-25
Caura	4.000	2
Caroní	5.000	2

y las dunas cuando están expuestas en aguas bajas (Nordin y Pérez-Hernández 1989), invirtiendo la dirección de migración hacia aguas arriba.

Zonas de expansión y contracción de flujo

Debido en parte a la presencia de los controles que ejercen las estribaciones del Escudo de Guayana, el tramo inferior del río Orinoco presenta una configuración geométrica caracterizada por la alternancia de zonas de expansión con zonas de contracción de flujo. Tramos estrechos entre 1,2 y 1,5 km de ancho se alternan con tramos muy anchos de hasta 7 u 8 km, donde el río se bifurca en múltiples brazos, presentando las características típicas de un río trenzado. En estos tramos el flujo se divide entre barras e islas con vegetación muy densa, algunas de las cuales son cubiertas parcialmente por los flujos en el período de aguas altas, y otras que desaparecen totalmente durante las crecientes cuando el río alcanza su máximo caudal.

La Figura 6a ilustra el proceso de degradación (erosión) y agraciación (sedimentación) del lecho en diferentes momentos, en secciones obtenidas de los aforos realizados por el INC-MARN. Entre abril y agosto de 1994, el nivel del agua subió unos 8 m y el lecho descendió entre 1 m en el centro del cauce hasta unos 10 m hacia la margen derecha. En términos generales, en aguas bajas (abril) el lecho del río está a una cota más alta y en aguas altas (agosto-septiembre) el lecho está a una cota más baja. Durante la creciente, el lecho del río comienza a descender debido a un incremento en la velocidad del flujo y en su capacidad de transporte, lo cual inicia el proceso de erosión o degradación del sedimento de fondo. Con la recesión del hidrograma, que culmina en el período de aguas bajas, se produce el fenómeno contrario (sedimentación). El comportamiento de las secciones anchas del bajo Orinoco, donde el flujo se expande alrededor de islas y bancos de arena se ilustra con las imágenes de las Figuras 6b y 6c.

En el sector de la Isla Bernabela, a unos 30 km aguas arriba de Ciudad Bolívar, el cauce se divide en dos brazos, el brazo norte de aproximadamente 2 km de ancho y el brazo sur de 1 km de ancho, siendo el ancho total, incluyendo la isla, de unos 5 km. Las Figuras 6b y 6c presentan las variaciones del lecho durante el ciclo hidrológico. Se aprecia tanto en el brazo norte como en el brazo sur, que el lecho del río se incrementa en noviembre (aguas altas) y disminuye en abril (aguas bajas). Es decir, que al incrementarse los niveles del agua con la creciente, los lechos de ambos brazos del Orinoco sedimentan material, al contrario de lo que sucede en Punta Cuchillo (sección estrecha) donde el lecho se erosiona.

La mayor variación se observa en el brazo norte, donde el lecho desciende hasta 5 m durante la recepción de la creciente anual. Una explicación a este fenómeno es que durante las crecientes ocurre la degradación del lecho en las secciones estrechas y el material erosionado va a ser depositado en la próxima sección más ancha que se encuentre aguas abajo. Esta deposición en las secciones anchas durante el período de aguas altas, ocurre debido a la división del caudal en los diferentes brazos, por lo que se produce una reducción en su capacidad de transporte, induciendo a la sedimentación del material arrastrado. Por el contrario, en aguas bajas, la mayor parte del caudal en las zonas de expansión se concentra en una sección más pequeña del flujo, pudiendo este incrementar su velocidad y su capacidad de transporte para provocar el movimiento del sedimento del lecho.

Evolución y migración de márgenes

La rapidez en la erosión de las márgenes fluviales depende de muchas variables, destacando el tipo de material que las conforma (cohesivo o no-cohesivo), la vegetación y la velocidad del flujo. En el caso del bajo Orinoco, con desniveles de 12 a 16 m entre aguas altas y bajas, el colapso de los taludes se produce usualmente en el borde de recesión de la creciente debido a las subpresiones generadas cuando las aguas infiltradas en las márgenes retornan al cauce principal. Fotografías aéreas e imágenes satelitales muestran evidencias del desplazamiento de las márgenes del Orinoco, en especial la margen izquierda encallada en los depósitos sedimentarios de origen andino. La margen derecha presenta una mayor estabilidad al estar encallada en un control geológico bien definido donde afloran las estribaciones del Escudo de Guayana. Un caso notable de desplazamiento de márgenes del río Orinoco se evidencia en la zona de expansión ubicada en el sector Isla El Troncón en Caicara del Orinoco. La torre cuatro del tendido eléctrico de 230 KV entre Puerto Ayacucho y Valle de la Pascua, construida en 1989 sobre la margen izquierda del Orinoco, se encuentra ahora en el medio del cauce del río, a unos 300 m de la margen, expuesta a los flujos directos de la corriente fluvial. Las cartas de navegación del Instituto Nacional de Canalizaciones (INC 1990, 2011) muestran que la torre fue construida sobre tierra firme en un sitio localizado a 100 m de distancia de dicha margen, por lo que la migración de la margen hacia el sur puede estimarse en unos 400 m para un período de 22 años, lo cual indica una tasa de desplazamiento cercana a los 20 m/año. Igualmente, las curvas del Orinoco migran longitudinalmente según un proceso de erosión de la margen cóncava o exterior, y otro proceso de sedimentación sobre la

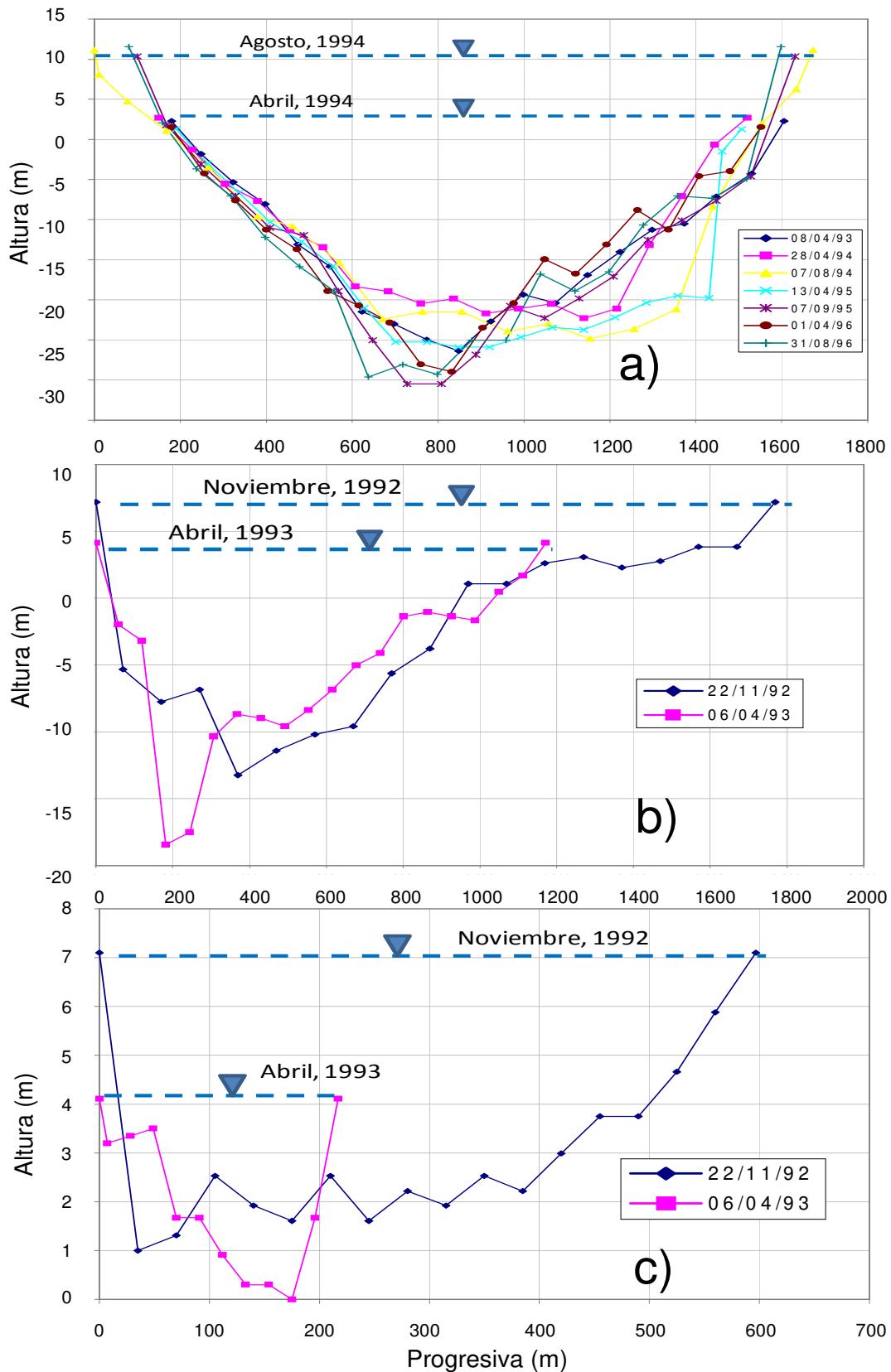


Figura 6. Variaciones en el tiempo de la sección transversal del río Orinoco en Punta Cuchillo (a) y en el brazo norte (b) y sur (c) de la Isla Bernabela (la línea horizontal a trazos indica la superficie del agua).

margen convexa o interna. Marcucci (1989) ha estimado que las tasas de erosión en las partes cóncavas de algunas curvas del río Orinoco -entre Caicara y Ciudad Guayana- es de 30 a 40 m/año.

Dinámica del material suspendido y disuelto en el Orinoco

Caudales del Orinoco: El río Caroní posee un caudal promedio interanual de 4.800 m³/s (Córdova 1999) y desemboca hacia la margen derecha del Orinoco a unos 100 km aguas abajo de Ciudad Bolívar. Sumando la superficie de la cuenca del Caroní y los aportes de este río al Orinoco, el caudal medio anual del Orinoco en Barrancas (justo antes del Delta del Orinoco) alcanza los 37.600 m³/s, lo que corresponde a 37,6 l/(s km²) de caudal específico. Este caudal específico es uno de los más altos a nivel global para cuencas con áreas superiores a los 1x10⁶ km², siendo inclusive superior a los 34,6 l/(s km²) que presenta el río Amazonas (Callède et al. 2010) y tres veces superior a los 11,7 l/(s km²) estimados para el río Congo (Laraque et al. 2001), que es el segundo río con un mayor caudal anual promedio a nivel global (41.000 m³/s). La comparación entre los caudales anuales y las tendencias interanuales para el Orinoco en Ciudad Bolívar indican que no ha existido una tendencia clara a largo plazo desde 1926 hasta 2010 (Laraque et al. 2013a). Durante el período de estudio (2007-2010), el caudal medio anual del Orinoco en Ciudad Bolívar (32.000 m³/s) fue muy similar al caudal promedio anual determinado a largo plazo (32.700 m³/s). Sin embargo, los caudales de estiaje fueron más altos después de 1980 (Figura 3). Como el caudal medio anual para los períodos estudiados fue similar al presentado por el Orinoco en su serie hidrológica completa, los flujos de SST calculados para el período de estudio (2007-2010) podrían ser representativos de su serie completa, asumiendo que las condiciones de la cuenca no han cambiado significativamente.

Concentraciones y flujos de SST en el Orinoco entre 2007 y 2010: En una serie de diez aforos sólidos realizados durante el ciclo hidrológico por cuatro años se demostró que una muestra de agua superficial es representativa del promedio de concentraciones de SST de las muestras tomadas en varios sitios de la sección transversal del río en Ciudad Bolívar (Laraque et al. 2013a). Esta homogeneidad espacial es inusual (por la heterogeneidad en las concentraciones de SST presentadas por el Orinoco) y persiste por kilómetros aguas abajo hasta la confluencia con el río Caroní. Igualmente, no se identificaron diferencias significativas en las concentraciones del material suspendido y disuelto en muestras recolectadas verticalmente.

El río Orinoco es conocido por la asimetría lateral existente entre una orilla y la otra, la cual se extiende desde su fuente hasta su desembocadura y se mantiene por el continuo aporte de SST de los tributarios de la margen izquierda, provenientes de los Andes, mientras los tributarios de la margen derecha, que vienen del Escudo de Guayana, se caracterizan por poseer aguas negras con muy poco sedimento suspendido (Lewis y Saunders 1989, Nordin y Meade 1985, Stallard 1987). Sin embargo, esta heterogeneidad lateral se interrumpe localmente al nivel de Ciudad Bolívar, debido al efecto de los afloramientos rocosos ubicados entre la confluencia del río Meta y la desembocadura del Orinoco (Warne et al. 2002). Uno de estos afloramientos rocosos produce los rápidos llamados “El Paso del Infierno”, los cuales han sido descritos por Stallard (1987) y se ubican aguas abajo de Muscínacio, lugar en donde empieza la homogenización completa de los sedimentos en suspensión en la sección transversal del río.

En general, existen diversos controles que producen una homogenización del material suspendido aguas abajo de Muscínacio. Entre ellos están: (i) los rápidos del “Paso del Infierno”, (ii) una sucesión de meandros caracterizados por curvas cerradas que promueven el transporte del agua de una orilla a la otra, (iii) la existencia de varios cruces de líneas de corrientes, aguas abajo de las islas fluviales, (iv) la alternancia de contracción y expansión en la sección transversal del río, (v) el relieve variable del fondo del cauce que también acentúa la mezcla total de SST y (vi) la presencia de una forma de tipo embudo en puente Angostura, en donde el ancho del Orinoco se reduce desde 5-8 km a 1 km. Además, en la sección de Ciudad Bolívar existen afloramientos del Escudo de Guayana que provocan vórtices y turbulencia en el flujo, promoviendo aún más la homogenización.

Variaciones temporales de las concentraciones de SST: Durante un año las concentraciones de SST muestreadas *in situ* con una frecuencia de cada diez días tuvieron una relación de 70 entre los valores extremos (mínimo de 3 mg/l y máximo de 206 mg/l, con un promedio de 74,24 mg/l) (Tabla 2). Sin embargo, al ponderar estas concentraciones con los caudales y al promediar los cuatro años hidrológicos estudiados, el cociente entre valores extremos disminuyó a 3,1, con valores medios mensuales entre 38 y 117 mg/l y un promedio de 74 mg/l (Tabla 3). Este valor promedio de 74 mg/l en la concentración de SST fue un poco menor al reportado por Lewis y Saunders (1989) y por Meade et al. (1990) (80 y 93 mg/l, respectivamente). Aunque el Orinoco presenta un régimen hidrológico unimodal en Ciudad Bolívar, el régimen

Tabla 2. Valores promedios diarios y rangos de Q, STD, COD y SST determinados en el Orinoco en Ciudad Bolívar durante el periodo de estudio (Laraque et al. 2013a).

Parámetro	Media	Mínimo	Máximo	Máx/Mín
Q diario (m^3/s)	31.416	3.324	76.290	23,0
STD (mg/l)	30,1	11,3	48,7	4,3
COD (mg/l)	4,2	1,7	9,3	5,5
SST (mg/l)	73,9	3,0	206,0	68,7

Tabla 3. Promedios mensuales de las concentraciones y flujos de Q, SST, SDT y COD determinados en el Orinoco en Ciudad Bolívar durante el periodo de estudio (Laraque et al. 2013a).

Meses	Q (m^3/s)	SST (mg/l)	STD (mg/l)	COD (mg/l)	Total (mg/l)	SST (kg/s)	STD (kg/s)	COD (kg/s)	Total (kg/s)
Enero	12.583	40,0	35,1	3,7	79	503	442	46	992
Febrero	8.483	39,3	39,6	4,0	83	333	336	34	703
Marzo	6.218	37,9	39,9	3,0	81	235	248	19	502
Abril	9.546	58,9	35,8	3,4	98	563	341	33	937
Mayo	21.478	116,9	32,6	3,8	153	2.510	701	82	3.294
Junio	36.058	110,7	29,7	4,2	145	3.993	1.069	151	5.213
Julio	54.872	85,6	26,9	5,0	117	4.697	1.476	273	6.446
Agosto	66.762	59,6	28,5	4,9	93	3.978	1.902	325	6.206
Septiembre	62.012	66,5	28,3	3,8	99	4.124	1.756	237	6.117
Octubre	45.306	73,3	29,1	3,7	106	3.322	1.320	167	4.809
Noviembre	33.470	78,4	30,1	3,6	112	2.624	1.008	121	3.753
Diciembre	24.136	52,9	35,6	5,1	94	1.277	860	122	2.259
Promedio	31.744	73,9	30,1	4,2	108	2.347	955	134	3.436
Mínimo	6.218	37,9	26,9	3,0	79	235	248	19	502
Máximo	66.762	116,9	39,9	5,1	153	4.697	1.902	325	6.446
Máx/Mín	10,74	3,1	1,5	1,7	1,94	20	8	17	13

sedimentario es bimodal, con un primer pico durante la crecida de aguas y un segundo pico durante el período de recessión de las aguas. Como lo han señalado Meade et al. (1983) y Weibezahn (1990), el primer pico durante la crecida se explica por la remobilización del sedimento en el cauce del río y por el aporte del material lavado a través de surcos y erosión en vertientes y laderas de los cerros adyacentes.

Durante el período de mayor caudal, se observaron bajas concentraciones de SST debido a una disminución en su disponibilidad y por el efecto de dilución. El segundo pico de SST durante la fase de recessión se debe al efecto de remanso que ejerce el Orinoco en las zonas de confluencia con los tributarios andinos de la margen izquierda, causando una deposición de la carga de sedimentos de los tributarios

en varias unidades geomorfológicas de las zonas de confluencia (Pérez-Hernández y López 1998). Durante el período de rápida recessión (disminución de más de 16 metros en pocas semanas), la energía de la pendiente y la velocidad del flujo en los tributarios se incrementa, y los sedimentos previamente depositados son remobilizados y transportados aguas abajo hacia el curso principal del Orinoco, produciendo entonces un segundo pico sedimentario; sin embargo, este pico también puede ser producido por un incremento en el aporte del sedimento fino proveniente del colapso de bancos compuestos de límos y arenas, promovido por la desaturación de las orillas arenosas durante la recessión del hidrograma, lo cual se produce a lo largo del cauce de 2.000 km de longitud del río Orinoco.

Flujo anual de SST: El régimen del flujo de los SST en el bajo Orinoco es ligeramente asincrónico con el régimen de flujo líquido (Figura 2b), debido a que el flujo sedimentario se encuentra afectado por el alto contenido de SST, que presenta una fuerte variación estacional (Figura 2a). El flujo medio anual calculado de material sólido en el Orinoco durante el período de estudio fue de 74×10^6 t/año. Este valor fue alrededor de un 20% más bajo que los valores de 90×10^6 t/año y $93,2 \times 10^6$ t/año reportados respectivamente por Lewis y Saunders (1989) y por Paolini et al. (1987), y fue sólo la mitad del valor de 150×10^6 t/año ($\pm 50 \times 10^6$ t/año) reportado por Meade et al. (1990). Estos tres valores fueron determinados en diferentes estudios desarrollados entre 1982 y 1985. Meade et al. (1990) sugieren que la razón para este amplio intervalo de variación es la escasez de datos disponibles de caudales y de sedimentos suspendidos. Los diferentes procedimientos para calcular el flujo de SST también contribuyen a las diferencias entre los flujos estimados. Sin embargo, este estudio aporta un conjunto mayor de datos para cálculos de flujo de SST, debido a la alta frecuencia de muestreo durante cuatro años.

Como el régimen sedimentario no está sincronizado con el régimen hidrológico (Figura 2a), las concentraciones de SST y los valores de caudales evidencian una histéresis similar a la reportada por Meade et al. (1990). Por lo tanto, la función $SST = f(Q)$ para calcular el flujo de sedimentos, no es aplicable al caso del Orinoco. Por esta razón, en el presente estudio se ha usado la interpolación entre las concentraciones de SST en vez de usar las curvas de gasto sedimentario, las cuales fueron utilizadas para obtener los primeros flujos estimados de SST en el Orinoco (Meade et al. 1983, 1990, Nordin y Meade 1985).

Repartición de las concentraciones y flujos de SST, SDT y COD: En el Orinoco (Tabla 4), las concentraciones de material suspendido (68,5%) predominan sobre las concentraciones de material disuelto (31,5%). Los SST reflejan la degradación mecá-

nica de los suelos y son aportados por la rápida erosión de la Cordillera de los Andes. Esta alta, joven y activa cadena montañosa y la Cordillera de la Costa, cubren conjuntamente el 35% de la cuenca y ofrecen un variado relieve frecuentemente objeto de deslaves, lo que da origen a la principal fuente de sedimentos. Adicionalmente, la agricultura intensiva prevalece en las montañas de los Andes, así como en el piedemonte (Lasso et al. 2010).

El COD representa sólo el 4% de la concentración total de carga transportada y es esencialmente aportado por los tributarios de aguas negras que drenan el Escudo de Guayana. Esta área de drenaje está cubierta principalmente por selva, matorrales y humedales y su área total, de aproximadamente 300.000 km², representa alrededor del 30% del total de la cuenca del río Orinoco (Lasso et al. 2010). La Tabla 4 muestra los valores de los flujos medios anuales de SST, SDT y COD para el Orinoco en Ciudad Bolívar entre los años 2007 y 2010. El caudal medio anual fue de 32.700 m³/s, mientras que los flujos de SST, SDT y COD fueron de 74×10^6 t/año, 30×10^6 t/año y 4×10^6 t/año, respectivamente. En general, se podría concluir que en la cuenca del Orinoco, la meteorización física predomina sobre la meteorización química (88,5 t/km² año para los SST vs 36 t/km² año para los SDT) y sobre la producción biológica (5,1 t/km² año para el COD).

Origen y comportamiento de elementos mayoritarios en el bajo río Orinoco

En el bajo Orinoco, la abundancia de elementos mayoritarios viene dada principalmente por la meteorización de rocas (aporte geogénico). La zona andina comprende una diversa mezcla de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, constituidas por carbonatos, silicatos y evaporitas o rocas salinas (Edmond et al. 1996), las cuales se meteorizan y dan origen a los elementos mayoritarios disueltos en el Orinoco. El Na en las aguas del Orinoco se deriva de la meteorización de rocas salinas (NaCl o halita) y plagioclásas (albita-oligoclásas), mientras que el contenido de Ca y Mg se

Tabla 4. Carga media anual y flujos específicos de Q, SST, STD, COD y carga total determinados en el Orinoco en Ciudad Bolívar durante el período de estudio (Laraque et al. 2013a).

	Q	SST	STD	COD	Carga Total
Unidades	10^9 m ³ /año	10^6 t/año	10^6 t/año	10^6 t/año	10^6 t/año
Carga Media Interanual	1000	74	30	4	108
Unidades	l/s km ²	t/km ² año	t/km ² año	t/km ² año	t/km ² año
Flujos Específicos	37,9	88,5	36,0	5,1	130

debe a la meteorización de silicatos (plagioclasas) y carbonatos (calcita y dolomita), aunque cierta proporción de Ca también deriva de la meteorización de evaporitas, como en el caso de la anhidrita (CaSO_4) y el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). El mayor contenido del K disuelto en el Orinoco proviene de los silicatos y feldespatos potásicos, los cuales son abundantes en el Escudo de Guayana. Aunque estos elementos son aportados también por fuentes atmosféricas, tales como los aerosoles marinos, el aporte geogénico es tan elevado que las contribuciones marinas son consideradas como irrelevantes (Edmond et al. 1996).

Debido a que el contenido de elementos mayoritarios en las aguas del Orinoco deriva principalmente de la meteorización química de rocas, el comportamiento temporal de sus concentraciones se encuentra controlado por un proceso de dilución. Las Figuras 7a, 7b y 7c muestran que existe una disminución de las concentraciones de Na, Ca y Mg en las aguas del Orinoco a medida que se incrementa el caudal. Este comportamiento es producto de la dilución producida por la mezcla de aguas subterráneas, muy mineralizadas, con las aguas superficiales, poco mineralizadas, durante los períodos de precipitación. Sin embargo, cabe destacar que la variación temporal de la concentración de macroelementos en las aguas del Orinoco no solo es afectada por la dilución, ya que los valores de caudal se incrementan en un factor de 20, mientras que las concentraciones de Na, Ca y Mg solo decrecen

en un factor que varía entre tres y cuatro entre los períodos de bajo y alto caudal. Esto se debe a un aumento en la meteorización química a medida que se incrementan los valores de escorrentía en la cuenca, fenómeno que ha sido reportado a escala global (Gaillardet et al. 1999).

Otros elementos como el K y el Si son también aportados por la meteorización y pueden ser influenciados por la actividad biológica. A diferencia de las concentraciones de Na, Ca y Mg, las concentraciones de K no muestran una clara relación con el caudal; es decir, los valores de K son casi constantes o presentan pequeñas variaciones a lo largo del ciclo hidrológico según los registros. Estudios realizados en el río Apure por Mora et al. (2010) indican que este tributario aporta al Orinoco grandes cantidades de K, el cual es producido por la descomposición del material vegetal que se encuentra en las planicies inundables durante los períodos de alto caudal. A diferencia de la planicie de inundación del río Orinoco, que se encuentra constituida por diversas lagunas que bordean el cauce principal, la planicie de inundación del Apure es tipo delta interno y cubre amplias extensiones de áreas inundables que presentan una densa vegetación.

Durante los períodos de inundación, el río Apure se desborda e inunda estas amplias extensiones de las planicies inundables asociadas, promoviendo la descomposición de la vegetación sumergida y la lixiviación de altas cantidades de K almacenado por las plan-

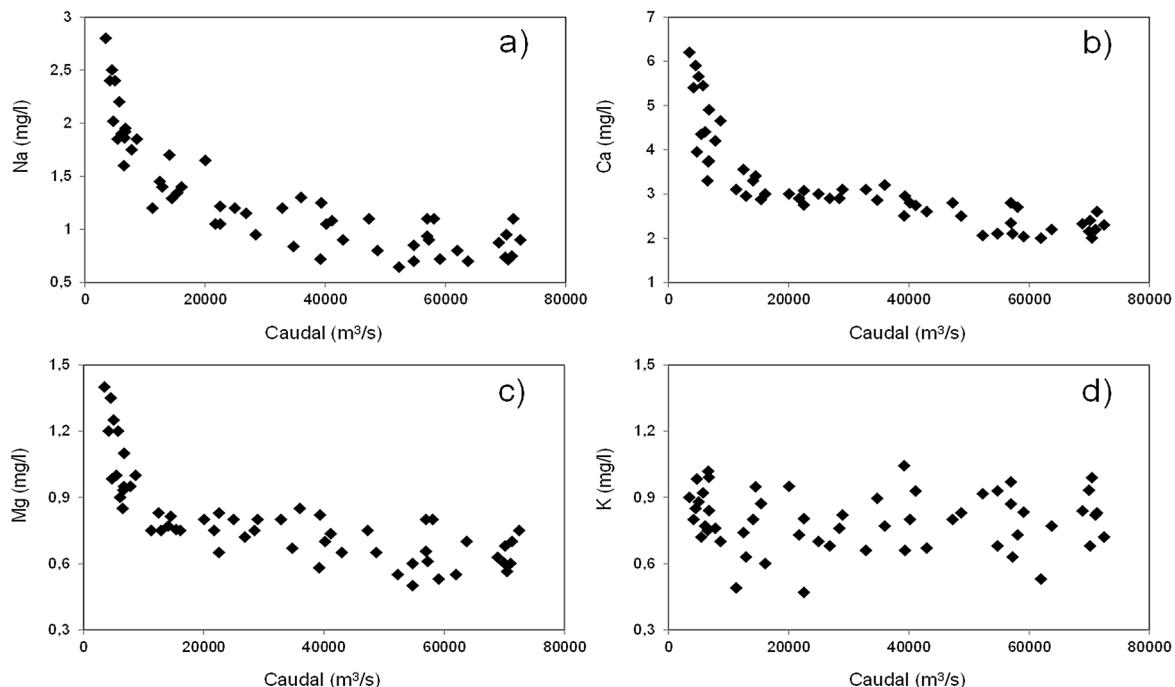


Figura 7. Variación de la concentración de Na (a), Ca (b), Mg (c) y K (d) disuelto en función del caudal en el bajo río Orinoco (muestras mensuales tomadas durante el período 2003-2008 en Puente Orinokia).

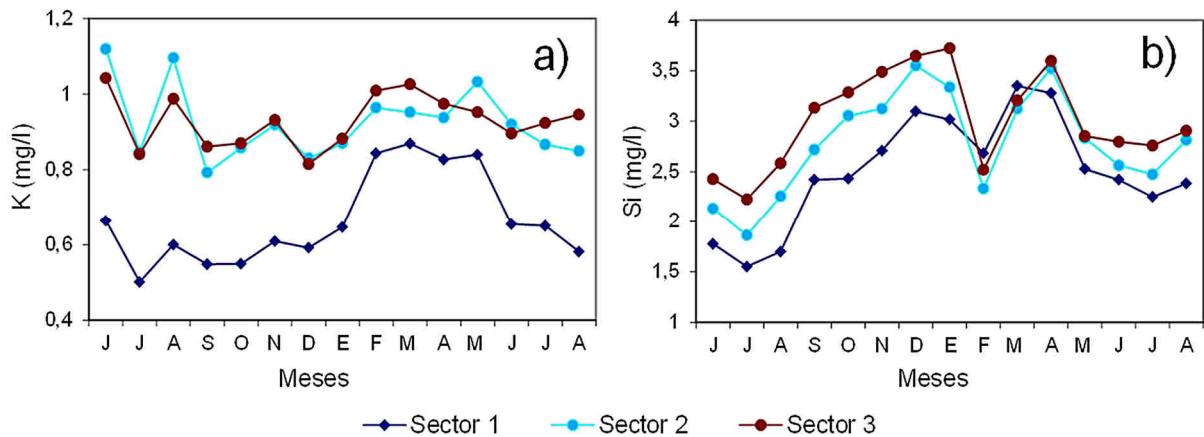


Figura 8. Variación temporal de la concentración de K (a) y Si (b) disuelto a lo largo del bajo Orinoco (sector 1 antes de la confluencia con el río Apure, sector 2 después de la confluencia con el Apure y sector 3 a la altura de Puente Orinokia) (Mora 2011).

tas hacia el cauce principal, generándose un importante aporte de K biogénico desde el Apure al Orinoco durante esta época del año (Mora et al. 2010). La Figura 8 muestra las variaciones temporales de la concentración de K y Si disuelto en el río Orinoco determinadas por Mora (2011) en tres sectores: 1) antes de la confluencia Apure-Orinoco, 2) después de la confluencia Apure-Orinoco a la altura de Las Majadas y 3) en el bajo río Orinoco a la altura de puente Orinokia (Puerto Ordaz).

La Figura 8a muestra que antes de la confluencia con el río Apure, las concentraciones de K presentan un comportamiento unimodal en el Orinoco, con máximos valores de concentración durante los meses de menor caudal (febrero, marzo y abril) y mínimos valores durante los meses de alto caudal. Esto indica que antes de la confluencia Apure-Orinoco, la mayor parte del K contenido en las aguas del Orinoco es derivado de la meteorización de silicatos y feldespatos potásicos, y la variación temporal de este elemento es controlada por un proceso diluytivo, al igual que el resto de los elementos mayoritarios. Sin embargo, después de la confluencia Apure-Orinoco (sectores 2 y 3) las concentraciones de K permanecen casi constantes a lo largo del ciclo hidrológico, debido al K biogénico aportado por el río Apure durante los períodos de inundación. Así, durante la época de bajo caudal, la mayor parte del K en el bajo Orinoco es derivado de la meteorización de rocas, mientras que durante la época de alto caudal, el K geogénico disminuye por un proceso de dilución y el K biogénico se incrementa por la descomposición del material vegetal, lo cual deriva en una baja variabilidad de las concentraciones de K en el bajo Orinoco durante el ciclo hidrológico. La sílice tuvo un patrón

temporal parecido al del Na, Ca y Mg, con una tendencia hacia los altos valores de concentración en los períodos de sequía y mínimos valores en el período de mayor caudal del río. Este comportamiento indica que el Si se genera por la meteorización de silicatos y sus variaciones temporales están determinadas por la dilución. Sin embargo, la Figura 8b muestra una clara disminución en las concentraciones de Si en los sectores muestreados durante los meses de febrero y marzo, meses en los cuales las concentraciones de SST en el río Orinoco son mínimas (Laraque et al. 2013b) y la transparencia del agua alcanza valores máximos. La disminución de la concentración de SST en las aguas del Orinoco durante estos meses por efecto de la sedimentación del material suspendido, causa un incremento en el paso de luz a través de la columna de agua y produce un aumento de la biomasa fitoplanctónica, principalmente en los taxa de diatomeas *Melosira* y *Rizoboslenia* (Lewis 1988), las cuales tienen la particularidad de tomar el Si disuelto para la formación de su exoesqueleto silícico (Seckbach y Kociolek 2011). Por consiguiente, la disminución en las concentraciones de Si durante el período de aguas bajas en el Orinoco puede ser debido a que este elemento tiende a ser tomado por las comunidades de diatomeas, las cuales se incrementan a medida que aumentan los valores de transparencia (Lewis 1988).

Variación temporal de algunos elementos traza disueltos en el bajo río Orinoco

Los patrones temporales de las concentraciones de elementos traza disueltos (Fe, Al, Mn, Zn, Cu y Cr) en el bajo Orinoco indican que estos elementos poseen altas concentraciones durante los períodos de alto caudal y mínimas concentraciones durante la época

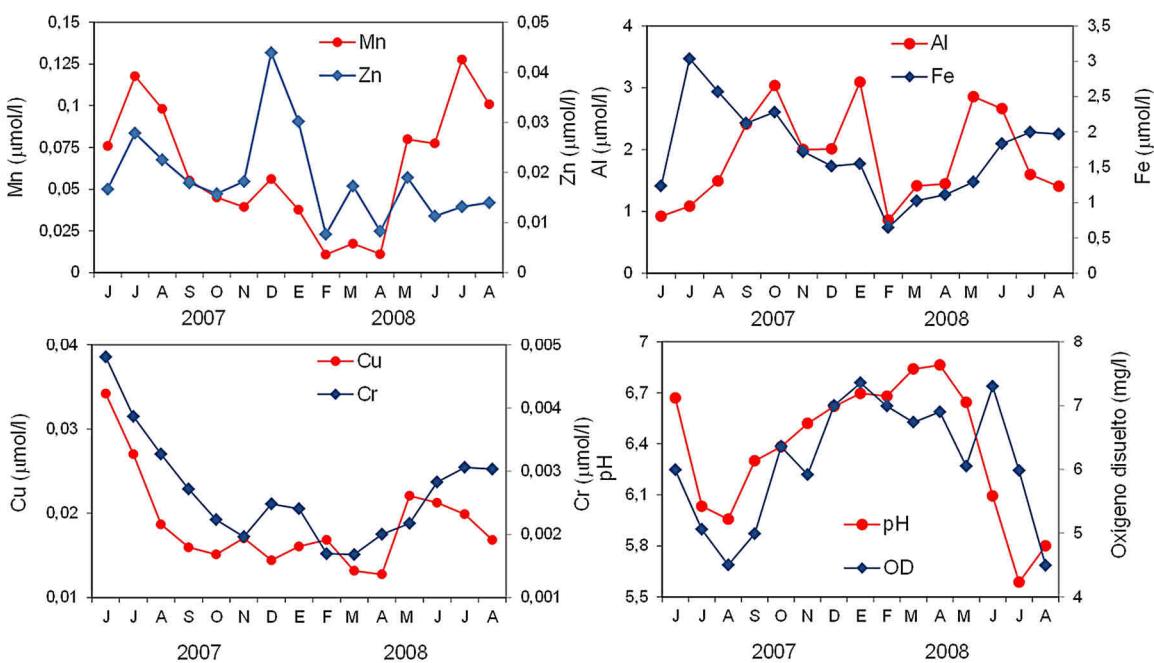


Figura 9. Variación temporal del pH, oxígeno disuelto y de la concentración de algunos elementos traza disueltos en un sector del bajo Orinoco a la altura de puente Orinokia.

seca (Figura 9). Esta tendencia es inversa a la encontrada por Márquez (2011) en el Orinoco medio, principalmente debido a que los elementos aquí estudiados fueron los que se encuentran en la fracción disuelta ($< 0,22 \mu\text{m}$), mientras que Márquez (2011) reporta los elementos contenidos en la fracción total, la cual incluye el sedimento suspendido. La Tabla 5 muestra los coeficientes de correlación de Pearson entre cada uno de los parámetros analizados en las aguas del bajo Orinoco entre el 2007 y el 2008. Elementos como el Mn y el Fe, los cuales son sensibles a cambios de las condiciones redox en sistemas acuáticos, presentaron una correlación negativa con el pH y el oxígeno disuelto.

Durante la época de subida de aguas y aguas altas, el pH de las aguas del Orinoco disminuye como consecuencia de la dilución producida por las aguas superficiales poco mineralizadas. Igualmente, durante esta época, el oxígeno disuelto alcanza sus valores mínimos (cerca de 4 mgO₂/l), debido al proceso de descomposición bacteriana de la materia orgánica disuelta (Mora 2011), lo que favorece condiciones más reductoras en el medio. Estas condiciones promueven la reducción de MnO₂ y Fe³⁺ a Mn²⁺ y Fe²⁺ (respectivamente), los cuales son mucho más solubles que sus especies oxidadas (Mora 2011). Por consiguiente, las condiciones reductoras y una disminución en los valores de pH durante los períodos de alto caudal incrementan la solubilidad del Mn y el Fe disuelto en

las aguas del Orinoco. Cabe resaltar que durante los períodos de menor caudal, las concentraciones de Fe y Mn fueron menores debido a que el pH y el oxígeno disuelto alcanzan sus máximos valores en las aguas del Orinoco, promoviendo la oxidación y la formación de oxihidróxidos de Fe y Mn, los cuales tienden a ser incorporados en la fracción particulada. Similarmente, la Tabla 5 indica que el Cr presentó una fuerte relación positiva con el Cu, lo cual sugiere que la solubilidad de ambos elementos puede estar controlada por un mismo proceso geoquímico. Algunos estudios indican que los coloides orgánicos de bajo peso molecular poseen una alta capacidad para acomplejar al Cu y al Cr (Benedetti et al. 2003), lo cual podría indicar que ambos elementos se encuentran acomplejados con coloides orgánicos de bajo peso molecular en la fracción $< 0,22 \mu\text{m}$. Sin embargo, es necesario realizar estudios de ultrafiltración en las aguas del bajo Orinoco para verificar esta hipótesis.

INFLUENCIA ANTRÓPICA Y ESTADO DE LA CONSERVACIÓN

Estado actual del bajo río Orinoco. Debido a la carencia de actividades industriales antes de Puerto Ordaz, el bajo Orinoco podría considerarse como un sistema hídrico poco intervenido. Sin embargo, existen diversos factores y escenarios que han alterado el buen estado de conservación del bajo Orinoco en varios sectores. Antes del Delta del Orinoco, se

encuentra la zona industrial Matanzas, lugar donde se ubican las industrias procesadoras de mineral de Fe y Al en Venezuela, las cuales pueden incorporar cantidades considerables de metales pesados al Orinoco. Recientemente se conoce que no existen cambios considerables de la concentración de metales pesados disueltos en el río aguas abajo de la zona industrial Matanzas (Mora 2011), probablemente debido a la dilución producida por el caudal que posee el Orinoco. Similarmente, aunque estudios llevados a cabo por Mora et al. (2013), indican que existe una abundancia atípica de Fe, Zn, Cr y Pb en los sedimentos de fondo del río Orinoco cerca de la zona industrial, este enriquecimiento es muy bajo, ya sea porque la dilución es muy alta o porque el continuo dragado de sedimentos para el mantenimiento del canal de navegación no permite visualizar la acumulación de metales pesados en el sedimento. Igualmente, la contaminación química existente en ciertos sistemas lagunares tales como la laguna Castillero (Márquez et al. 2008) y otras lagunas de inundación contaminadas con lodo rojo (Mora et al. 2015), también pudieran alterar la composición química de las aguas del río durante el período de descenso del hidrograma, debido a la conectividad existente entre el cauce principal del río y los diversos cuerpos de agua de la planicie inundable.

Por otro lado, diferentes proyectos de ingeniería han afectado el funcionamiento natural del sistema fluvial, con consecuencias negativas para la biota y las poblaciones indígenas que allí residen. Un ejemplo de ello es el cierre del caño Mánamo, en el Delta del Orinoco, el cual produjo una acidificación y salinización de los suelos recuperados con dicho cierre, una expansión progresiva de manglares y la subsecuente migración de indígenas Warao hacia poblados cercanos (Montoya et al. 2011, Monente et al. 2017).

Principales amenazas y propuestas para la conservación. Aunque no existen estudios sobre los efectos directos que pudieran ocasionar ciertas prácticas agrícolas sobre el río Orinoco, la intensificación de la quema de las sabanas, el incremento en el uso de agroquímicos y la sustitución de la vegetación autóctona de la región por cultivos tales como el algodón, verduras y frutas en islas y riberas del bajo Orinoco, alteran el ciclo biogeoquímico del carbono y de otros nutrientes. Esto se debe a que el carbono orgánico en el Orinoco se deriva de la descomposición microbiana de la vegetación autóctona asociada a bosques y sabanas que son inundados durante el período de alto caudal (Medina et al. 2005).

La minería aurífera, a pesar de que se desarrolla en zonas del alto Orinoco y alto Caroní (Lasso et al. 2006, Machado-Allison 2017), pudiera también impactar zonas del bajo Orinoco debido a la posible deposición de sedimentos contaminados con mercurio en las planicies de inundación. Igualmente, los vertidos industriales procedentes de la zona industrial Matanzas y las lagunas de sedimentación de lodos rojos localizadas en dicha zona industrial representan un peligro inminente para la biota acuática y para el río en general (Mora et al. 2013, Mora et al. 2015), debido a que la rotura de los diques de contención de estos lagos alcalinos ocasionaría el derrame de millares de toneladas de este peligroso residuo hacia el río, ocasionando una catástrofe ecológica sin precedentes.

Por otro lado, la construcción de diques y represas en las faldas de la cordillera de los Andes y en el Escudo de Guayana pueden producir variaciones en el caudal, interrumpir la conectividad longitudinal y disminuir el flujo sedimentario aguas abajo del Orinoco, alterando el hábitat acuático y afectando la tasa de reproducción de invertebrados y peces (Montoya et al. 2011). Algunos estudios han realizado algunas predicciones

Tabla 5. Coeficientes de correlaciones de Pearson para los elementos traza y los parámetros químicos evaluados en las aguas del bajo Orinoco.

	Mn	Zn	Al	Fe	Cu	Cr	O ₂	pH
Mn	1							
Zn	0,15	1						
Al	-0,10	0,21	1					
Fe	0,69	0,28	0,13	1				
Cu	0,55	-0,01	-0,30	0,20	1			
Cr	0,70	0,15	-0,34	0,46	0,85	1		
O ₂	-0,61	0,02	0,29	-0,64	-0,25	-0,47	1	
pH	-0,85	0,09	0,08	-0,72	-0,19	-0,43	0,61	1

ciones sobre los efectos a futuro del cambio climático sobre el Delta del Orinoco. Por ejemplo, el incremento en el nivel del mar podrían traer como consecuencia una erosión moderada de las áreas costeras del delta, migración de manglares, inundación general y pérdida de humedales, afectando a la biota autóctona de la zona deltaica y produciendo cambios en el ambiente tradicional de los indígenas Warao, los cuales podrían migrar y abandonar sus territorios ancestrales (Vegas-Vilarrubia et al. 2015).

A pesar que la minería, las industrias, el uso de las tierras para la agricultura y la construcción de centrales hidroeléctricas (Guri, Macagua, Caruachi y Tocoma), entre otras obras ingenieriles, han afectado sectores del bajo Orinoco, los trabajos llevados a cabo en los últimos 30 años y los estudios aquí realizados demuestran el buen estado de conservación del río Orinoco en su sección baja, posiblemente debido al gran caudal del río y a la gran amplitud de su planicie de inundación. Sin embargo, los proyectos de envergadura tales como la construcción de represas hidroeléctricas en los ríos Caura y Cuchivero, el trasvase de agua del río Caura al río Paragua, la continua acumulación de lodos rojos en las adyacencias del río, la explotación de la faja petrolífera del Orinoco y el ahora cuestionado arco minero a lo largo de la ribera derecha del río Orinoco pudieran afectar considerablemente las características hidrosedimentarias, geomorfológicas, geoquímicas y biológicas del bajo río Orinoco.

Lo anterior indica la necesaria e imperiosa realización de diversos estudios de orden geoquímico, biológico, ecológico y sociocultural que amplíen el conocimiento sobre el estado actual del bajo Orinoco, su corredor ribereño y su planicie de inundación, de manera de identificar los posibles cambios que se produzcan a futuro como consecuencia de las acciones humanas. Similamente, dado que en la actualidad no existen alternativas viables que reduzcan las consecuencias de la construcción de grandes represas hidroeléctricas, es importante evitar la realización de este tipo de obras sobre los tributarios andinos y sobre los tributarios provenientes del Escudo de Guayana. Esto debido a que los grandes reservorios disminuyen el flujo sedimentario y causan alteraciones irreversibles en el régimen hidrológico, afectando la calidad del hábitat y la composición y estructura de las comunidades de peces tanto en los reservorios como aguas abajo de los reservorios (Agostinho et al. 2008).

BIBLIOGRAFÍA

- Aka, A., Lubes, H., Masson, J., Servat, E., Paturel J. y Kouame B. 1996. Analysis of the temporal variability of runoff in Ivory Coast: statistical approach and phenomena characterization. *Hydrological Sciences Journal*. 30 (6): 959-970.
- Agostinho, A. A., Pelicice, F. M. y Gomes, L. C. 2008. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian Journal of Biology*. 68: 1119-1132.
- Benedetti, M. F., Mounier, S., Filizola, N., Benaim, J. y Seyler, P. 2003. Carbon and metal concentrations, size distributions and fluxes in major rivers of the Amazon basin. *Hydrological Processes*. 17: 1363-1377.
- Buishand, T. A. 1982. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of Hydrology* 58: 11-27.
- Callède, J., Cochonneau, G., Vieira Alves, F., Guyot, J. L., Guimaraes, V. S. y De Oliveira, E. 2010. Les apports en eau de l'Amazone à l'Océan Atlantique. *Rivue des sciences de l'eau* 23: 247-273.
- Colonnello, G. 1990. Elementos fisiográficos y ecológicos de la cuenca del río Orinoco y sus rebalses. *Interciencia* 15(6): 476-485.
- Córdova, J. R. 1999. *Caracterización del funcionamiento hidrológico e hidráulico-fluvial del Delta del Orinoco*. PDVSA. Informe de Desarrollo Armónico de Oriente. DAO, FUNINDES, USB.
- Edmond, J. M., Palmer, M. R., Measures, C. I., Brown, E. T. y Huh, Y. 1996. Fluvial geochemistry of the eastern slope of the northeastern Andes and its foredeep in the drainage of the Orinoco in Colombia and Venezuela. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60: 2949-2976.
- Filizola, N. y Guyot, J. L. 2004. The use of Doppler technology for suspended sediment discharge determination in the River Amazon. *Hydrological Sciences Journal* 49: 143-153.
- Gaillardet, J., Dupré, B. y Allègre, C. J. 1999. Global silicate weathering and CO₂ consumption rates deduced from the chemistry of large rivers. *Chemical Geology* 159: 3-30.
- Hubert, P., Carbonnel, J. P. y Chaouche, A. 1989. Segmentation des séries hydrométéorologiques – Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest. *Journal of Hydrology*. 110: 349-367.
- Instituto Nacional de Canalizaciones. 1990. *Cartas de navegación del río Orinoco, tramo Jobal-Matanzas*.
- Instituto Nacional de Canalizaciones. 2011. *Cartas de navegación del río Orinoco, tramo Jobal-Matanzas*.
- Laraque, A., Mahe, G., Orange, D. y Marieu, B. 2001. Spatiotemporal variations in hydrological regimes within Central Africa during the XXth century. *Journal of Hydrology* 245: 104-117.
- Laraque, A., Bernal, C., Bourrel, L., Darrozes, J., Christophoul, F., Armijos, E., Fraizy, P., Pombosa, R. y Guyot, J.L. 2009. Sediment budget of the Napo River, Amazon basin, Ecuador and Peru. *Hydrological Processes*. 23: 3509-3524.
- Laraque, A., Castellanos, B., Steiger, J., López, J. L., Pandi, A., Rodríguez, M., Rosales, J., Adèle, G., Pérez, J. y Lagane, C. 2013a. A comparison of the suspended and dissolved matter dynamics of two large intertropical rivers draining into the Atlantic Ocean: the Congo and the Orinoco. *Hydrological Processes*. 27: 2153-2170.
- Laraque, A., Moquet, J. S., Alkattan, R., Steiger, J., Mora, A., Adèle, G., Castellanos, B., Lagane, C., López, J. L., Pérez, J., Rodríguez, M. y Rosales, J. 2013b. Seasonal variability of total dissolved fluxes and origin of major

- dissolved elements within a large tropical river: The Orinoco, Venezuela. *Journal of South American Earth Sciences*. 44: 4-17.
- Lasso, C. A., Giraldo, A., Lasso-Alcalá, O. M., León-Mata, O., DoNascimento, C., Milani, N., Rodríguez-Olarte, D., Señaris, J. C. y Taphorn, D. 2006. Peces de los ecosistemas acuáticos de la confluencia de los ríos Orinoco y Ventuari, Estado Amazonas, Venezuela: resultados del AquaRAP 2003. (pp: 114-122). En: Lasso, C. A., Señaris, J. C., Alonso, L. E., & Flores, A. L. (Eds.). *Evaluación Rápida de la Biodiversidad de los Ecosistemas Acuáticos en la Confluencia de los Ríos Orinoco y Ventuari, Estado Amazonas, (Venezuela)*. Boletín RAP de Evaluación Biológica 30, Conservación Internacional. Washington D.C.: USA.
- Lasso, C. A., Usma, J. S., Trujillo, F. y Rial, A. 2010. *Biodiversidad de la cuenca del Orinoco: bases científicas para la identificación de áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Instituto de Estudios de la Orinoquia, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Lee, A. F. y Heghinian, S. M. 1977. A shift of the mean level in sequence of independent normal random variables: a Bayesian approach. *Technometrics*. 19(4): 503-506.
- Lewis, W. M. y Saunders, J. F. 1989. Concentration and transport of dissolved and suspended substances in the Orinoco River. *Biogeochemistry*. 7: 203-240.
- Lewis, W. M. 1988. Primary production in the Orinoco River. *Ecology*. 69(3): 679-692.
- López, J. L. y Pérez-Hernández, D. 1999. Some morphological aspects of the Orinoco River. En: *Proceedings of the LAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics*. Genova, Italia. 6 al 10 de septiembre, 1999.
- Machado-Allison. 2017. La conservación de ambientes acuáticos: petróleo y otras actividades mineras en Venezuela. Capítulo 9. (pp: 189-201). En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.). *Ríos en riesgo de Venezuela. Vol. I. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela*. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Marcucci, E. 1989. *Evaluación de las zonas que restringen la navegación en el canal El Jobal-Matanzas*. Bauxiven, C.A.
- Márquez, A. 2011. *Descripción de las características fisicoquímica y concentración de metales pesados en las aguas del Orinoco medio, Estado Bolívar, Venezuela*. Trabajo de Ascenso presentado como requisito obligatorio para ratificar la categoría de profesor agregado. Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
- Márquez, A., Senior, W., Martínez, G., Castañeda, J. y González, A. 2008. Concentraciones de metales en sedimentos y tejidos musculares de algunos peces de la laguna de Castillero, Venezuela. *Revista Científica FCV-LUZ*. 18(2): 1-13.
- Meade, R. H. 1994. Suspended sediments of the modern Amazon and Orinoco rivers. *Quaternary International*. 21: 29-39.
- Meade, R. H., Nordin, C. F., Pérez-Hernández, D., Mejía, A. y Paredes Godoy, J. H. 1983. Sediment and water discharge in Río Orinoco, Venezuela and Colombia. (pp: 1134-1144). En: *Proceedings of the Second International Symposium on River Sedimentation*. Water Resources and Electric Power Press, Nanjing, China. 11 al 16 de octubre, 1983.
- Meade, R. H., Weibezahn, F. H., Lewis, W. M. y Pérez-Hernández, D. 1990. Suspended-sediment budget for the Orinoco River. (pp: 55-79). En: Weibezahn, F. H., Alvarez, H. y Lewis, W. M (Eds). *E/Río Orinoco como Ecosistema*. Impresos Rubel, Caracas, Venezuela.
- Medina, E., Francisco, M., Sternberg, L. y Anderson, W. T. 2005. Isotopic signatures of organic matter in sediments of the continental shelf facing the Orinoco Delta: Possible contribution of organic carbon from savannas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 63: 527-536.
- Millán, S. y López, J. L. 2004. Transporte de sedimentos en el río Orinoco. En: *Libro de resúmenes del XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. Sao Pedro, Brasil. 18 al 22 de octubre, 2004.
- Millán, S., López, J. L. y Falcón, M. 2001. Sediment loads delivered to the Orinoco delta. En: *Proceedings of the V Latin American and Caribbean Congress in Fluid Mechanics*. Caracas, Venezuela. 14 al 17 de mayo, 2001.
- Monente, J., Colomello, G. y Herrera, O. 2017. Los ríos del Delta del Orinoco: situación y riesgo. Capítulo 6 (pp: 127-149). En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.). *Ríos en riesgo de Venezuela*. Vol. I. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Montoya, J. V., Castillo, M. M. y Sánchez, L. 2011. La importancia de las inundaciones periódicas para el funcionamiento y conservación de los ecosistemas inundables de grandes ríos tropicales: Estudios en la cuenca del Orinoco. *Interciencia*. 36(12): 900-907.
- Mora, A. 2011. *Variación temporal y espacial de la concentración de cationes mayoritarios y elementos traza disueltos en el sistema Río Orinoco, Venezuela*. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Mora, A., Baquero, J. C., Alfonso, J. A., Pisapia, D. y Balza, L. 2010. The Apure River: geochemistry of major and selected trace elements in an Orinoco River tributary coming from the Andes, Venezuela. *Hydrological Processes*. 24: 3798-3810.
- Mora, A., Alfonso, J. A., Baquero, J. C., Handt, H., Vásquez, Y. 2013. Elementos mayoritarios, minoritarios y traza en muestras de sedimentos del medio y bajo río Orinoco, Venezuela. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 29 (3): 165-178.
- Mora, A., Pisapia, D., González, N., Handt, H., Moreau, C., Vásquez, Y., Márquez, L. y Alfonso, J. A. 2015. Impact of the red mud disposal on several floodplain lagoons of the lower Orinoco River. *Water, Air, and Soil Pollution*. 226: 179.
- Nordin, C. F. y Meade, R. H. 1985. The Amazon and the Orinoco. (pp: 385-390). En: *McGraw-Hill Yearbook of Science and Technology*. McGraw-Hill Inc., New York. USA.
- Nordin, C. y Pérez-Hernández, D. 1989. Sand waves, bars, and windblows sands of the Río Orinoco, Venezuela and Colombia. *U.S. Geological Survey Water-Supply Paper*. 2326-A.
- Nordin, C. F., Mejía, A. y Delgado, C. 1994. Sediment

- studies of the Orinoco River, Venezuela. (pp: 243-265). En: Schumm, S. A. y Winkley, B. R. (Eds.). *The variability of large alluvial rivers*. American Society of Civil Engineers, New York, USA.
- Paolini, J., Hevia, R. y Herrera, R. 1987. Transport of carbon and minerals in Orinoco and Caroni rivers during the years 1983-1984. (pp: 325-338). En: Degens, E. T. (Ed). *Transport of carbon and minerals in major world rivers, lakes and estuaries*. Part 4. SCOPE/UNEP Sonderband 55, Mitt Geol-Paläont Inst Univ Hamburg.
- Pérez-Hernández, D. y López, J. L. 1998. Algunos aspectos relevantes de la hidrología del Río Orinoco. (pp: 138-154). En: López, J. L., Saavedra, I. y Dubois, M. (Eds.). *El Río Orinoco Aprovechamiento Sustentable*. Instituto de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Pettitt, A. 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*. 28 (2): 126-135.
- Seckbach, J. y Kociolek, J. P. 2011. Diatoms: General Introduction. (pp: 11-12). En: Seckbach, J. y Kociolek, J.P. (Eds.). *The Diatom World*. Springer Dordrecht Heidelberg, London New York.
- Silva, G. 2005. La cuenca del río Orinoco: visión hidrográfica y balance hídrico. *Revista Geográfica Venezolana*. 46: 75-108.
- Stallard, R. 1985. River chemistry, geology, geomorphology, and soils in the Amazon and Orinoco basins. (pp: 293-316). En: Drever, J. I. (Ed). *The chemistry of weathering*. D. Reidel Publishing Compagny, Dordrecht, Holland.
- Stallard, R. 1987. Cross-channel mixing and its effect on sedimentation in the Orinoco River. *Water Resources Research*. 23: 1977-1986.
- Stallard, R., Koehnken, L. y Johnsson, M. J. 1990. Weathering processes and the composition of inorganic material transported through the Orinoco River system, Venezuela and Colombia. (pp: 81-119). En: Weibezahn, F. H., Álvarez, H. y Lewis, W. M (Eds.). *El Río Orinoco como Ecosistema*. Impresos Rubel, Caracas, Venezuela.
- Vegas-Villarrubia, T., Hernández, E., Rull, V. y Rull Vegas, E. 2015. The Orinoco megadelta as a conservation target in the face of the ongoing and future sea level rise. *Science of the Total Environment*. 515-516:129-142
- Warne, A. G., Meade, R. H., White, W. A., Guevara, E. H., Gibeaut, J., Smyth, R. C., Aslan, A. y Tremblay, T. 2002. Regional controls on geomorphology, hydrology, and ecosystem integrity in the Orinoco Delta, Venezuela. *Geomorphology* 44: 273-307.
- Weibezahn, F. H. 1990. Hidroquímica y sólidos suspendidos en el alto y medio Orinoco. (pp: 151-210). En: Weibezahn, F. H., Alvarez, H. y Lewis, W. M (Eds.). *El Río Orinoco como Ecosistema*. Impresos Rubel, Caracas, Venezuela.

Capítulo 6

Los ríos del Delta del Orinoco: situación y riesgo

José Antonio MONENTE¹, Giuseppe COLONNELLO¹ y Olga HERRERA²

1. Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Maripérez, Caracas. Venezuela

jose.monente@fundacionlasalle.org.ve, giuseppe.colonello1@fundacionlasalle.org.ve

2. Fundación para el Desarrollo de las Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Venezuela.

olgah82@gmail.com

El Delta del Orinoco comenzó su construcción hace 10.000 años con un aumento gradual del nivel del mar, a partir de los materiales originados en el Escudo de Guayana, los Andes y la Cordillera de la Costa. El resultado actual es una serie de islas interconectadas por una red de caños de diferentes tamaños. Las corrientes marinas, además de transportar sedimentos muy finos desde el Amazonas, junto a las olas y las mareas contribuyeron a darle su forma final ayudados por la elevación del nivel del mar. El origen y las influencias locales y antrópicas introducen cambios en la calidad de agua de los diferentes caños especialmente en aquellas variables vinculadas a la influencia marina: conductividad, pH, aniones y cationes. El estado de conservación del delta es razonablemente aceptable, a pesar de haber recibido impactos de diversa naturaleza. El más destacable es la construcción de un dique que reguló el caño Mánamo, alterándose los flujos, el transporte de sedimentos y la calidad del agua; además se generaron cambios en la fauna y la flora. Los otros impactos relacionados con el dragado de algunos caños, la actividad petrolera o la explotación de los recursos naturales, al ser puntuales, han tenido menor relevancia. La resiliencia observada en el delta, especialmente en la zona afectada por el cierre, nos lleva a pensar que la adaptación a los cambios físicos pudiera ser una guía con vista al acelerado aumento del nivel del mar futuro previsto. Con base en esas intervenciones se propone: una nueva división del Delta del Orinoco y se plantean estudios y propuestas que ayuden a preparar respuestas tanto ambientales como sociales ante el impacto futuro.

Palabras Clave: elevación del nivel del mar, amenazas a poblaciones humanas, hidroquímica, flora, fauna, Delta del Orinoco, Venezuela

1. INTRODUCCIÓN

El Delta del Orinoco, por su escasa intervención antrópica, en contraste con la mayoría de los ambientes deltaicos tropicales con profundos impactos y modificaciones, ha llamado siempre la atención en los estudios del Neotrópico. En un sentido amplio, se le considera como un territorio poco impactado, a pesar de que desde hace varios miles de años ha estado ocupado por la etnia Warao, se ha manejado la vegetación para actividades agropecuarias y aprovechamiento maderero, se ha sobre pescado en las desembocaduras de los caños, se han realizado obras ingenieriles importantes que han modificado los caudales y el transporte de sedimentos, y existen vertidos de aguas servidas provenientes de las poblaciones ribereñas. Pero, sobre todo, el delta ha sufrido dos grandes intervenciones: una permanente, el control del caudal de caño Mánamo, y otra intermitente, la actividad petrolera. El represamiento del caño Mánamo fue realizado en la década de los 60 del siglo veinte para preservar de las inundaciones estacionales tanto de la ciudad de Tucupita como las regiones aledañas, isla Guara e isla Manamito y convertir los espacios desecados en centros de producción agropecuaria (Monente y Colonnello 2004, Colonnello y Pérez 2014). Esta gran obra hidráulica (cuatro tramos de terraplenes con 93,2 km de longitud en total) afectó más de un tercio del territorio deltano, generó cambios en la geomorfología, incidió en la descarga y transporte de sedimentos, así como en el caudal y la velocidad de las corrientes y en la colmatación de algunos cauces. Por otro lado, las actividades petroleras se iniciaron el año 1890 cerca de Pedernales, donde se explotaba asfalto y se han mantenido en forma intermitente a lo largo del tiempo, incluyendo además exploraciones petroleras en diversos lugares: caño Macareo, isla Redonda, Tucupita, Punta Pescador y en el centro del delta. Sin embargo, como el área afectada por la intervención del caño Mánamo se ha readaptado a la nueva situación y la mayoría de los otros impactos fueron puntuales y algunos de muy corta duración, el Delta del Orinoco mantiene un buen estado de conservación y sus múltiples ecosistemas y comunidades han mostrado una resiliencia mayor que otros ambientes terrestres cuya respuesta ha sido más lenta.

2. FORMACIÓN DEL DELTA DEL ORINOCO

El delta moderno, enmarcado por el caño Mánamo y el Río Grande, nace entre dos grandes llanuras aluviales: al sur, la prolongación de la llanura guaya-

nesa que comenzó a formarse en el extremo noreste del Escudo de Guayana (Sierra de Imataca) con el ascenso del nivel del mar después de la última glaciaciación y la formación Mesa, al oeste, originada a partir de la serranías del interior central y oriental (González de Juana et al. 1980). (Figura 1). La construcción del delta moderno ocurrió durante la transgresión Flandiense. En su inicio el nivel del mar, que se encontraba unos 120 metros bajo el nivel actual, aumentó rápidamente (10 mm/año); luego fue más lento (1,5 mm/año), lo que favoreció su formación (Figura 2).

El proceso comenzó con la formación de la llanura aluvial del sur del Orinoco debido a la protección que ofrecían los promontorios ígneos metamórficos del extremo oriental de la Sierra de Imataca. Sobre ésta se desarrolló una red hidrográfica compleja y atribuible más a la dinámica sedimentaria litoral que al comportamiento del río (Danielo 1976). El extremo oriental de esta llanura, al este de la ensenada de Yautica donde se ubica la isla Corocoro, todavía experimenta un activo proceso de erosión y sedimentación como ocurre en otras zonas costeras del litoral noroccidental de Suramérica y del propio delta, (Eisma et al. 1991, Wells y Colleman 1981). Por su parte, la llanura ubicada al oeste del actual caño Mánamo constituye la capa superior de una extensa llanura sedimentaria fluvio-deltaica y paludal. Mientras el mar no alcanzó niveles que permitieran a las corrientes litorales el acceso al Golfo de Paria, tanto los materiales sólidos transportados por el Orinoco y los ríos de la formación Mesa que circulaban vía superficial, como los fangos finos que transportaba la corriente de Guayana procedentes del Amazonas, que lo hacían por el fondo (Eisma et al. 1991), llenaron la gran bahía entre la isla Corocoro al este de Boca Grande y el extremo sur oriental de la isla de Trinidad (Figura 1).

Al aumentar el nivel del mar la planicie aluvial previamente formada por los aportes continentales, comenzó a quedar bajo los sedimentos marinos y fluvio-marinos transportados por las corrientes. El Orinoco aportó principalmente limo y arcilla, los ríos que proceden de la serranía de la costa y la formación Mesa aportaron clásticos de grano más grueso, arenas y gravas con algunas arcillas y arenas arcillosas intercaladas, mientras que la fracción arena más fina provino desde el sur (Escudo Guayanés); parte muy importante de los fangos procedió del Amazonas. El río Orinoco se movió en su extremo oriental sobre la formación Mesa que había cubierto el basamento duro de la Sierra de Imataca, la entalló y bordeó sus acumulaciones recientes y actuales (Ascanio 1997); finalmente, ingresó a la amplia

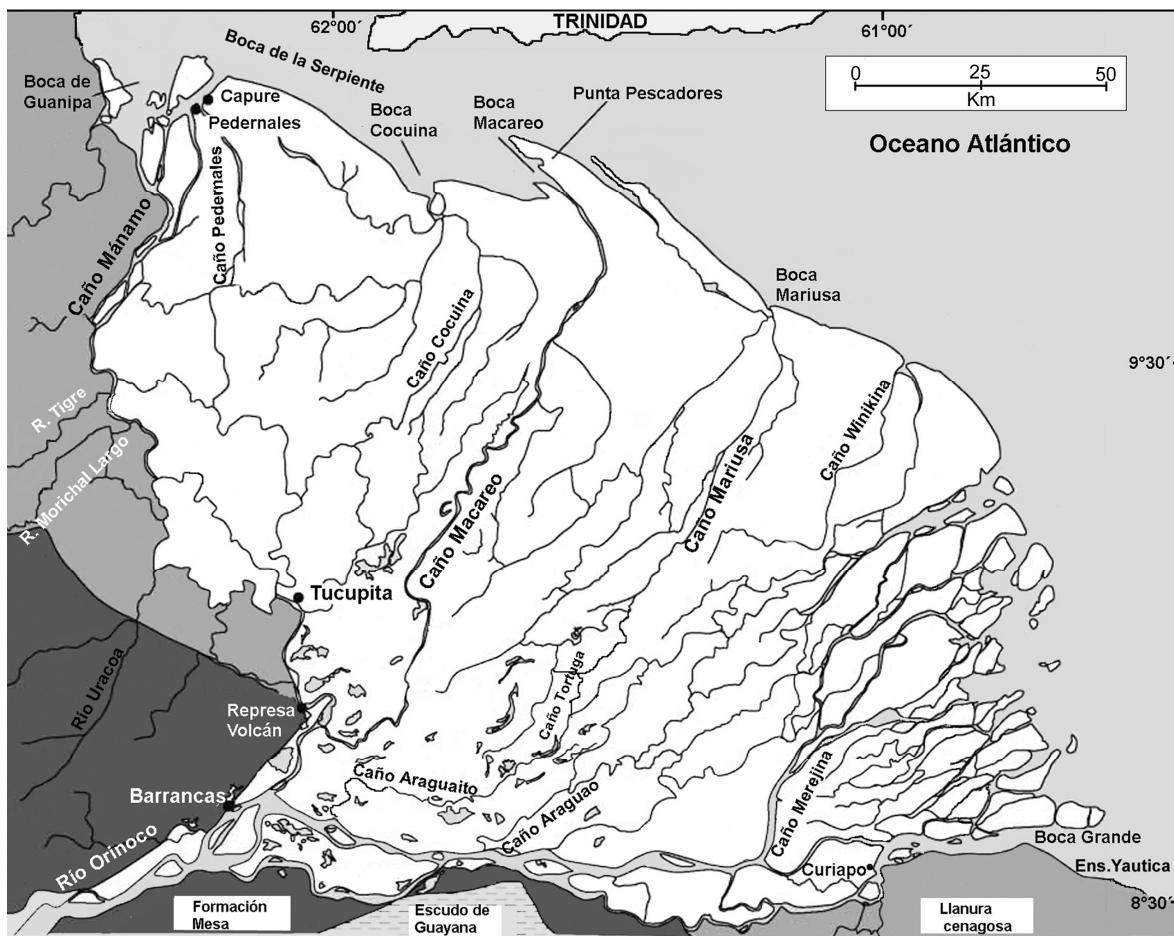


Figura 1. Delta del Orinoco con los caños principales, accidentes geográficos y algunas localidades, (adaptada de Warne et al. 2002). Se identifican los caños Mánamo al noroeste y Macareo al centro.

planicie marino costera ya formada donde encontró sedimentos mal consolidados; allí se movió en forma errática, formó islas, caños principales y marginales así como meandros dando inicio a la formación del abanico deltaico. Primero se formaron los dos canales principales: el Río Grande y caño Piaocá con dirección este y, hacia el noreste, el caño del que nacerían los dos grandes distribuidores secundarios: caños Macareo y Mánamo. El proceso continuó con la formación de la llanura fluviomarina de origen principalmente fluvial y constituyó la porción apical; el resto del delta se formó a partir de la dinámica litoral y fluvial. La acción combinada de la elevación del nivel del mar, las corrientes litorales, las mareas fuertes, el oleaje de poca intensidad y los aportes de materiales continentales controlaron la formación del delta. El oleaje ejerció el papel de estabilizador al interactuar con la descarga fluvial en el frente de avance y las corrientes de marea lo hicieron en la parte interna (Lara de González et al. 1997). En su movimiento hacia el este construyó islas y se formó

un nuevo brazo principal, caño Imataca; también varios caños de menor caudal orientados hacia el noreste. La acción de las mareas, unida a la de la corriente de Guayana que se refracta en Isla Corocoro, generó erosión a lo largo de la margen derecha del Caño Imataca, formaron la Ensenada de Yautica (Figura 1). Los sedimentos erosionados se dirigieron hacia el noreste y los que llegaron desde el Amazonas por el fondo, lo hicieron hacia el norte y continuaron la construcción del extremo suroriental del delta. Al norte de Punta Pescador parecía haber llegado hace muchos años a cierto equilibrio, como lo prueban las mediciones realizadas con C^{14} en turbas colectadas en las costas de Capure, adyacente a la barra de Cocuina, que indican una edad aproximada de 1140 años (Méndez 2005). Esta construcción progresiva del delta ha dado origen a varios planos de características geomorfológicas y de hábitat diferentes. El primero, también identificado como Delta Superior, ubicado entre 7 y 2,5 msnm, consiste de islas, más altas en su borde exterior (di-

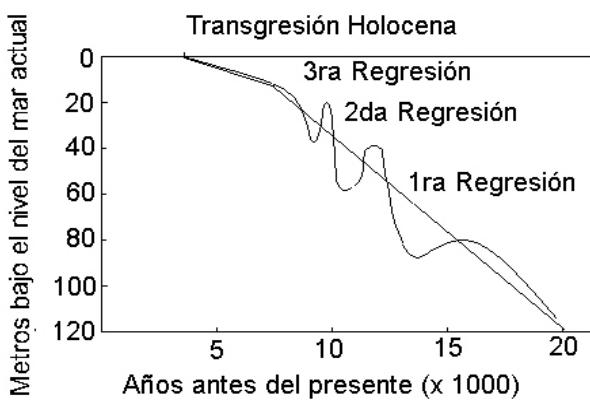


Figura 2. Variación del nivel del mar en la costa de Venezuela durante los últimos veinte mil años. Adaptada de Butenko (1979).

ques o albardones) y más profundas en el centro (cubetas de decantación y de desbordamiento). Los albardones están formados por acumulaciones de sedimentos fluviales, predominantemente arenas, arcillas y limos, con poca materia orgánica; en las cubetas predominan las turbas y las arcillas fluviales y marinas. Seguidamente se encuentra otro plano que refleja una interacción compleja entre la descarga fluvial, la influencia mareal y las precipitaciones; con alturas que varían entre 2,5 y 1 msnm está inundado por muy largos períodos sobre todo en las partes deprimidas (considerado delta medio). Sus geoformas más usuales son las planicies cenagosas, marismas e islas de estuario. Las planicies entre los distributarios Mariusa y Mánamo, tienen sustratos mayormente orgánicos, mientras que del Mariusa al Río Grande, donde se halla la mayor densidad de canales, los sustratos son arenosos, limosos y arcillosos. Finalmente, la franja costera, entre 1 y -1 msnm (considerado Delta Inferior), está permanentemente inundada debido sobre todo al represamiento de las aguas por causa de las mareas. A las formas descritas en el delta medio se suman los cordones litorales, paralelos a la costa, que conforman terrenos más altos no anegables como en la isla Tobejuba.

En resumen, el delta moderno de forma casi triangular y con su cara externa redondeada por la acción de las corrientes marinas, se desarrolló hacia el este como continuación de la planicie formada al oeste a partir de materiales originados en lugares geológicamente muy diversos y controlada por las fuertes corrientes marinas litorales (van Andel 1967). Su construcción parecía haberse beneficiado, además de la elevación del nivel del mar, de cuatro acciones conjuntas: la poca profundidad de la plataforma continental; la importante carga de sedimentos que llega al área, superior a la capacidad del oleaje y

las corrientes para removerlos; la relativa estabilidad tectónica y, finalmente, a la posible subsidencia presente en la zona que al ser muy lenta quedaría compensada por la gran cantidad de sedimentos que llegan a ella (Lara de González et al. 1997).

3. EL DELTA DEL ORINOCO COMO ECOSISTEMA

El delta del Orinoco tanto si se lo considera en sentido amplio como un ecosistema complejo o, más bien, como un conjunto de ecosistemas interconectados, es un espacio dominado por la presencia de agua y todo lo que en él ocurre depende de ella. Aguas de origen continental, de origen marino y las que proceden de las lluvias se interrelacionan y complementan para dar sentido al complejo conjunto. Los estudios físicos como los biológicos se iniciaron por los años 50 del siglo XX. Pero fue en las décadas siguientes cuando toman fuerza otras investigaciones sobre el origen y los procesos modeladores de la fisiografía deltana (van Andel 1967, Danielo 1976, Canales 1985, White et al. 2002, Warne et al. 2002, Lara de González et al. 1999); los estudios sobre la hidrología y la hidroquímica, geoquímica de los sedimentos (Paolini 1983, Monente y Colonnello 1997, Martínez et al. 2013a y b); la vegetación herbácea flotante y enraizada a las orillas así como la boscosa (i.e. Colonnello 1995, 1996; González-Boscán, 2011). También la fauna ha sido estudiada aunque con menor intensidad a excepción de la ictiofauna. Lasso et al. (2004a) presentan varias contribuciones así como listados de bentos y crustáceos, peces, macroinvertebrados bentónicos, anfibios y reptiles, aves acuáticas migratorias y aves acuáticas residentes. En los últimos años, con ocasión de la reactivación de las actividades petroleras en el Delta, se realizaron numerosas investigaciones, pero gran parte de la información generada permanece todavía sin publicar.

3.1. Hidroquímica de las aguas del delta

Las aguas del delta proceden principalmente del río Orinoco pero en forma desigual. La mayor parte va directamente al mar por el Río Grande y sus distribuidores secundarios (85%), y por el Caño Macareo y su limitada área de influencia, (10%); el resto del delta recibe solamente el 5%. Los aportes de los ríos procedentes de la Formación Mesa que drenan directamente al Caño Mánamo y los derivados de las precipitaciones son limitados. La acción conjunta del aporte del río Orinoco, las mareas y las precipitaciones hacen que gran parte del Delta permanezca total o parcialmente inundado, con cambios en la composición de las aguas en diferentes zonas según

Tabla 1. Concentraciones de diferentes variables del agua en tres sectores del caño Mánamo: aguas arriba antes del cierre; frente a la ciudad de Tucupita y frente al caño Winamorena. 1: Paolini (1983), 2: Colonnello (2001) y 3: Monente y Colonnello (1997). Conductividad en uS/cm y concentraciones en mg/l.

Variables	Antes del cierre			Tucupita		Frente a Caño Winamorena	
	1	2	3	1	3	1	3
pH	6,21	6,1	6,2	6,4	6,4		6,4
Conductividad	32,4	39,4		36,8			
Sólidos suspendidos	12,8	6,6		15,4			
Ca ⁺⁺	2,74	2,29	1,69	2,63	1,69	3,6	1,58
Na ⁺	0,92	0,86		1,89		4,77	
Mg ⁺⁺	0,64	1,6	1,69	0,73	0,62	1,84	
K ⁺	1,15	0,8	0,59	1,25	0,71	1,77	0,62

el origen del aporte. Los valores que presentan las aguas del Orinoco al llegar al ápice de su delta fluctúan de la siguiente manera: conductividad 20-45 (uS/cm), pH 5,3-7,4, alcalinidad 6,6-12,5 (CaCO_3 mg/l), Ca 2,0-4,0 (mg/l), Na 0,2-1,6 (mg/l), K 0,4-1,1 (mg/l) y Mg 0,65-1,5 (mg/l) (Monente 1991). Una vez que esas aguas se internan en el delta experimentan cambios importantes (ver Tabla 1).

A continuación se analiza la situación de tres sectores del delta por observarse en ellos cambios importantes en la composición de las aguas y por tener un interés especial dentro del contexto de ríos en riesgo. Estos sectores son: i) el caño Mánamo, ii) el sector nororiental drenado por los caños Cocuina, Pedernales y Capure (ubicado entre caño Mánamo y caño Macareo) y iii) el sector central ubicado entre el Macareo y los caños Araguaito y Araguaao, su caño principal es el Mariusa (Figura 3). Se desea resaltar con ella la gran diferencia existente en la red hidrográfica de esos sectores y el ubicado al sur de ellos (Meregrina, Figura 3).

Caño Mánamo

La reducción de su caudal a niveles mínimos, 200 m^3/s solamente durante los meses de máximo caudal en aguas altas alteró inicialmente el régimen hidrológico, afectó a la población humana, la geomorfología del caño y la calidad de sus aguas, especialmente lo relacionado con el avance hacia el sur de la cuña salina, así como los suelos, la vegetación y la fauna. (Figura 4). Las variables físicas y químicas experimentan hoy cambios importantes que se manifiestan desde antes de atravesar el dique hasta su desembocadura. Los primeros cambios comienzan a observarse en las dos grandes lagunas que se formaron al sur del dique y que represan las aguas del río Orinoco en aguas

altas; la diferencia más notoria corresponde a los sólidos en suspensión que se depositan en el fondo. Las otras variables como el pH, la conductividad o los cationes varían menos (Tabla 1). Al atravesar el dique la incorporación de agua de nuevas fuentes, los ríos Uracoa, Morichal Largo, Tigre y Guanipa, las aguas servidas de las poblaciones asentadas en sus riberas (Tucupita en el caño Mánamo principalmente), las derivadas de las precipitaciones (~1.000 mm anuales) que lavan tanto las superficies dedicadas a la ganadería y agricultura, así como los originados en los aportes atmosféricos (Mora et al. 2008), añaden otros cambios. Éstos son más notorios al disminuir los aportes del río Orinoco en aguas bajas y especialmente cuando coinciden con las mareas altas que, dada su gran amplitud (1,5 a 2,5 m), contienen el flujo de agua dulce al norte y favorecen el avance



Figura 3. Los grandes sectores del Delta del Orinoco: caño Mánamo (1), Pedernales-Cocuina (2), Mariusa (3) y Meregrina (4) (modificado de Google-Earth 2016).

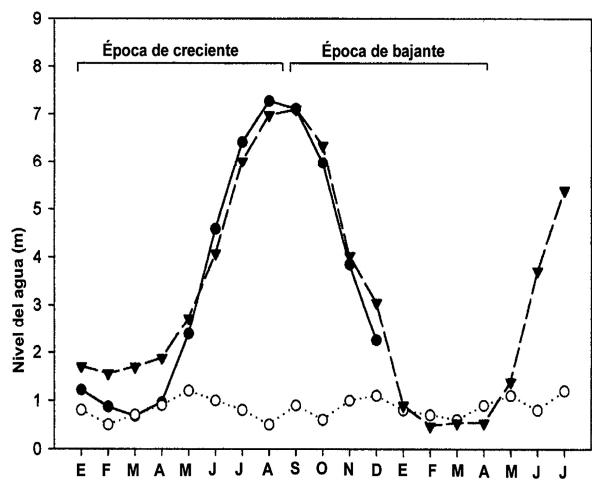


Figura 4. Niveles de la creciente del caño Mánamo antes del cierre (triángulos negros), después del cierre (círculos blancos), y promedio para 20 años (1979-1999) antes del cierre (círculos negros). Datos tomados del Instituto Nacional de Canalizaciones (Adaptado de Colonnello 2001).

de la cuña salina hacia el sur. Los aportes atmosféricos son más significativos en las aguas de escorrentía procedentes de las islas cercanas al mar como por ejemplo de isla Capure ubicada entre los caños Mánamo y Pedernales y el mar (Tabla 2). Uno de los impactos más destacados que siguieron al control del caudal del caño Mánamo fue la penetración hacia el sur de la cuña salina arrastrada por la marea. Los diferentes estudios realizados en este caño muestran consistentemente esa presencia aunque varía el alcance de su penetración caño arriba. Monente y Colonnello (1997) señalaron que la influencia de la onda de marea se observa en la ciudad de Tucupita, donde las fluctuaciones alcanzan hasta 1,20 m. Martínez et al. (2013a) observaron igualmente esa fluctuación estacional y encontraron la presencia de la cuña salina a una distancia superior a los 60 km de la desembocadura; por otro lado, Olivares y Co-

Tabla 2. Composición de las aguas de escorrentía procedentes de la isla Capure. 2-5: mg/l, 6: (uS/cm). Información propia. COT: carbono orgánico total.

Variables	Variables		
1. pH	6,85	7. Ca	118
2. Dureza total	1.745	8. Mg	352
3. Dureza cálcica	294	9. Na	2.394
4. Dureza magnésica	1.451	10. K	96,6
5. Sulfatos	485	11. COT	0,9
6. Conductividad	13.330		

lonnello (2000) no registraron agua salada tan al sur, pero sí en isla Bagre, a 15 km de la desembocadura. Las mediciones propias realizadas entre 1992 y 1997 muestran en Winamorena, 40 km al sur de Pedernales, valores similares a los reportados por Martínez et al. (2013a). Las mareas responsables del avance hacia el sur de la cuña salina tienen además otro papel en la dinámica del caño Mánamo. Las mareas entre el final de la fase descendente y el inicio del ascenso remueven los sedimentos finos del fondo, que se resuspenden, o erosionan las zonas costeras de las islas; la corriente de marea cargada de sedimentos removidos avanza caño adentro y los redistribuye, se depositan en los caños menores, en algunas de las islas cercanas y en las áreas más llanas donde el manglar comienza a instalarse dando origen a nuevas islas o al crecimiento de las existentes. Éste es, probablemente, el fenómeno físico más dinámico de todo el delta y el de mayor interés con relación a la elevación del nivel del mar.

El caño Mánamo y su área de influencia han experimentado una readaptación de sus poblaciones acuáticas y comunidades vegetales a las nuevas condiciones, así como la aparición de otras que reemplazan a las anteriores (Colonnello y Medina 1998, Novoa 2000, Lasso et al. 2004a). La revisión de diferentes estudios permitió identificar aspectos que pudieran calificarlo como un río en riesgo: acidificación de suelos, colmatación total de caños como el Tucupita o parcial como el Cocuina, Capure o el Winamorena, la aparición o crecimiento de islas, cambios en la geomorfología del cauce principal y el avance hacia el sur de la cuña salina. El aumento de la población asentada en las zonas desecadas ha incrementado no sólo la presión sobre los espacios también la contaminación por aguas residuales de uso doméstico (Wiscovitch 1993).

Caños Pedernales - Cocuina. Sector nororiental

El sector nororiental del Delta del Orinoco conforma el área menos conocida y la que ha quedado más aislada del río Orinoco por el control en el caudal del caño Mánamo. Como consecuencia de esa intervención se eliminó casi en su totalidad la incorporación de agua del Orinoco a la zona. Los caños Tucupita y Winamorena están colmatados, el agua que ingresa por el caño Cocuina es casi nula y la que circula por el caño Pedernales está influenciada por las aguas marinas. El caño Pedernales y los caños Cocuina y Capure (parcialmente cegados) se comportan como caños de marea. Así, la única fuente de agua dulce es la procedente de las precipitaciones sobre las llanuras aluviales. Las aguas de esos caños son ácidas, de coloración oscura y su composición es claramente

diferente a la que caracteriza a las aguas “negras” identificadas en los ríos Caroní y Caura (Tabla 3). Difieren principalmente en los cationes (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+), cuyas concentraciones son características de suelos donde ha ocurrido lavado de planicies anegadizas de origen fluviomarino. También está la influencia marina, no sólo por las mareas; los vientos arrastran tierra adentro el vapor de agua de origen marino. Los altos valores de azufre encontrados en los suelos de la zona presuponen que la acidez medida se relaciona con la presencia de sustancias sulfurosas. Los datos sugieren que ésta es una zona bien diferenciada de la mayor parte de los ecosistemas acuáticos continentales e, incluso, del resto del Delta del Orinoco. El Caño Angostura, ubicado en el extremo oriental del delta y uniendo a los caños Pedernales y Cocuima mediante el flujo de agua salada, está aislado de toda fuente agua dulce, salvo la recibida por la lluvia. Este caño tiene interés científico por los cambios que podrían ocurrir como consecuencia de la elevación del nivel del mar.

Caños Macareo y Araguao. Sector central

Ocupa este espacio el triángulo ubicado entre el caño Macareo y el caño Araguao y la línea de costa. En la actualidad, la única conexión de este sector con el Orinoco es a través del caño Tortuga, que conecta el caño Araguao con el Mariusa, el colector principal de estas aguas. Su principal fuente de agua dulce son las precipitaciones. El movimiento general de todos los cursos de agua en el sector lo gobiernan las mareas, de modo que todos los caños se comportan como caños de marea. Se observan conexiones colmatadas con el Orinoco y el Macareo que hacen pensar que en el pasado no muy lejano la situación era diferente. Las características químicas de las aguas de estos caños tienen muy poco parecido con las del Macareo, que repiten características encontradas en el río

Orinoco. Tampoco las aguas del caño Araguao se parecen a las que encontramos en este sector, a pesar de la cercanía. Dos caños menores se conectan con ellos: el caño Guapoá unido al caño Macareo y el caño Tortuga al Araguao. Las características químicas de las aguas de esos caños son muy diferentes entre sí y comparables parcialmente con las del río Orinoco (Tabla 1).

El caño Guapoá se origina en la planicie fluviomarina y sus aguas son obscuras pero con conductividad similar a la del Orinoco en aguas bajas (25,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$); pero tanto, el pH (5,21) como los sólidos suspendidos (11,6 mg/l) o el oxígeno disuelto 4,9 ml/l son significativamente menores. Por otro lado, las aguas del Caño Tortuga presentan características muy parecidas a las del río Araguao en aguas altas respecto a la conductividad (40 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), oxígeno disuelto 6,5 (mg/l) y pH 6,38 (Bone et al. 2004). El centro del sector no tiene conexión importante con el Orinoco y lo ocupa el caño Mariusa, que se convierte en colector al que convergen los principales caños secundarios que transportan las aguas de lluvia y los aportes menores desde el Araguao, a través del caño Tortuga, y toman coloración oscura similar a la observada al norte del Macareo. Pero, al igual que los caños Cocuina, Pedernales o Capure, estas aguas son negras sólo en apariencia y se diferencian en su composición de las descritas al sur del Orinoco para los ríos Caroní o Caura. Los resultados obtenidos en noviembre y mayo en los diferentes caños presentes en esta zona (Tabla 4), muestran unos cuerpos de agua con características específicas que ameritarían estudios particulares. La llegada de agua de lluvia no fue factor determinante en las diferencias observadas ya que en ambos meses los volúmenes de lluvia fueron similares: 136,4 y 143,3 mm; en cambio las mareas parecen influir de manera determinante en el Caño Mariusa y su afluente, el Caiguara.

Tabla 3. Comparación entre las concentraciones de aniones y cationes, pH y conductividad en los ríos Caura y Caroní con los encontrados en los caños Pedernales y Cocuina de la zona central del Delta del Orinoco. 1: Lewis et al. 1987; 2: Monente, información propia. S: Superficie y F: fondo

Variables	Caura	Cocuina	Pedernales
	1	2S - 2F	2S - 2F
Ca^{++} (mg/l)	0,64	0,5 0,4	0,5 0,48
Mg^{++} (mg/l)	0,25	0,24 0,29	0,28 0,31
Na^+ (mg/l)	1,14	10 9,3	14,5 12,3
K^+ (mg/l)	0,60	1,3 1,6	1,82 1,80
Cl^- (mg/l)	0,4	36,7 81,4	215 82,3
pH	6,8	6,8 6,8	7,1 6,9
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	15,4	210 210	1.060 350

En conclusión, las aguas de los caños que ocupan este espacio tienen una extraña composición: pH cercano a las aguas negras del sur del Orinoco, conductividad que supera incluso las de los ríos de aguas blancas y variaciones importantes en la concentración de oxígeno disuelto que muestra clara influencia marina. Las zonas costeras tienen su propia dinámica pues su dependencia del transporte litoral de las aguas del Orinoco y la acción de la marea parece determinante en los resultados puntuales. Cabe destacar, para finalizar, que este espacio, es probablemente el que se encuentra en mayor riesgo inmediato frente a la elevación del nivel del mar por la limitada presencia de manglar en las franjas costeras que pueda ofrecerle protección.

3.2. La vegetación de los caños del delta

Comunidades flotantes y arraigadas de orilla

Las comunidades arraigadas o flotantes de los caños del delta están formadas por hierbas y, ocasionalmente, sufrúcticas y arbustos que conforman las llamadas praderas flotantes. Colonnello y Egañez (2005) encontraron diferencias en las comunidades flotantes y arraigadas entre los caños Mánamo y Macareo (Tabla 10). En el tramo superior del caño Mánamo (MAN 1, Figura 5) la vegetación es de pequeñas praderas con menos de 500 m²; las espe-

cies principales son *Paspalum repens*, y *Eichhornia crassipes*, y en las orillas destacó la asociación *Montrichardia-Paspalum-Eichhornia*. En el medio del caño existen varias islas con pendientes muy suaves donde se desarrollan praderas más extensas con: *E. crassipes*, *Sacciolepis striata* y *P. repens*, y emergentes como *Sesbania exasperata*, *Urena lobata* y *Mimosa pigra*. Entre ellas se establecen *Tonina fluvialis*, *Borreria scabiosoides* e *Hymenachne amplexicaulis*.

En el trayecto intermedio (MAN 3 Figura 5) las únicas comunidades son las praderas pequeñas de *Paspalum-Eichhornia* y los cinturones estrechos de *Montrichardia*. Mientras que en el bajo delta reaparecen barras arenosas con grandes praderas, de tres a ocho hectáreas de extensión, ubicadas en las curvaturas interiores de los meandros, con especies principalmente emergentes como el *Paspalum repens*, *Ludwigia octovalvis* y *Polygonum acuminatum* (MAN 4, Figura 5). Los mayores valores de salinidad en las proximidades del mar no permiten que sobrevivan las praderas de *Eichhornia* (Olivares y Colonnello 2000). Los manglares y pocas especies halófitas como *Crennea maritima*, *Rabdadenia biflora* y *Spartina alterniflora*, ocupan las orillas.

En el caño Macareo las comunidades de plantas del sector superior del río (MAC 1, Figura 6), con albardones de hasta 9 m, están dominadas por espe-

Tabla 4. Resultados obtenidos durante el Aquarap 2003 realizado en la Reserva de Biosfera Delta del Orinoco, en noviembre de 2002 y mayo de 2003. (Bone et al. 2004).

Estación	Fecha	Profundidad máxima	pH	Conductividad (uS/cm)	Oxígeno (mg/l)	Temp. (°C)	Salinidad (%)
Caño Mariusa Interior	Nov-2002	11,6	5,28	40	0,96	29,06	0,00
	May-2003	7	6,72	100	7,24	29,12	0,04
Caño Mariusa cercano a la costa	Nov-2002	10,2	5,64	60	1,91	29,47	0,00
	May-2003	9	7,69	21.950	6,71	28,99	13,16
Caño Caiguara antes de su conexión con Mariusa	Nov-2002	9	6,11	1.460	1,78	28,15	0,06
	May-2003	9	7,46	17.790	6,38	27,87	10,43
Janakajamana 5	Nov-2002	20,8	5,04	70	3,18	29,42	0,00
	May-2003	10,7	5,81	50	3,95	27,25	0,01
Caño Jajene 6	Nov-2002	10,5	5,46	50	3,02	30,42	0,00
	May-2003	15	6,21	40	6,54	28,10	0,00
Mariusa Comunidad	10	4,7	6,31	590	3,21	29,23	0,00
		3,5	7,68	23.510	7,82	27,95	14,19
Barra Mariusita	11	4,7	6,65	26.500	5,18	29,33	1,79
		3,5	7,68	23.510	7,82	27,95	14,19
Isla de Tobejuba	12	1,8	5,76	150	7,31	30,25	0,00
		3	6,73	90	7,24	28,79	0,04
Mariusa barra	18	1,8	6,30	0,90	3,84	29,33	0,65

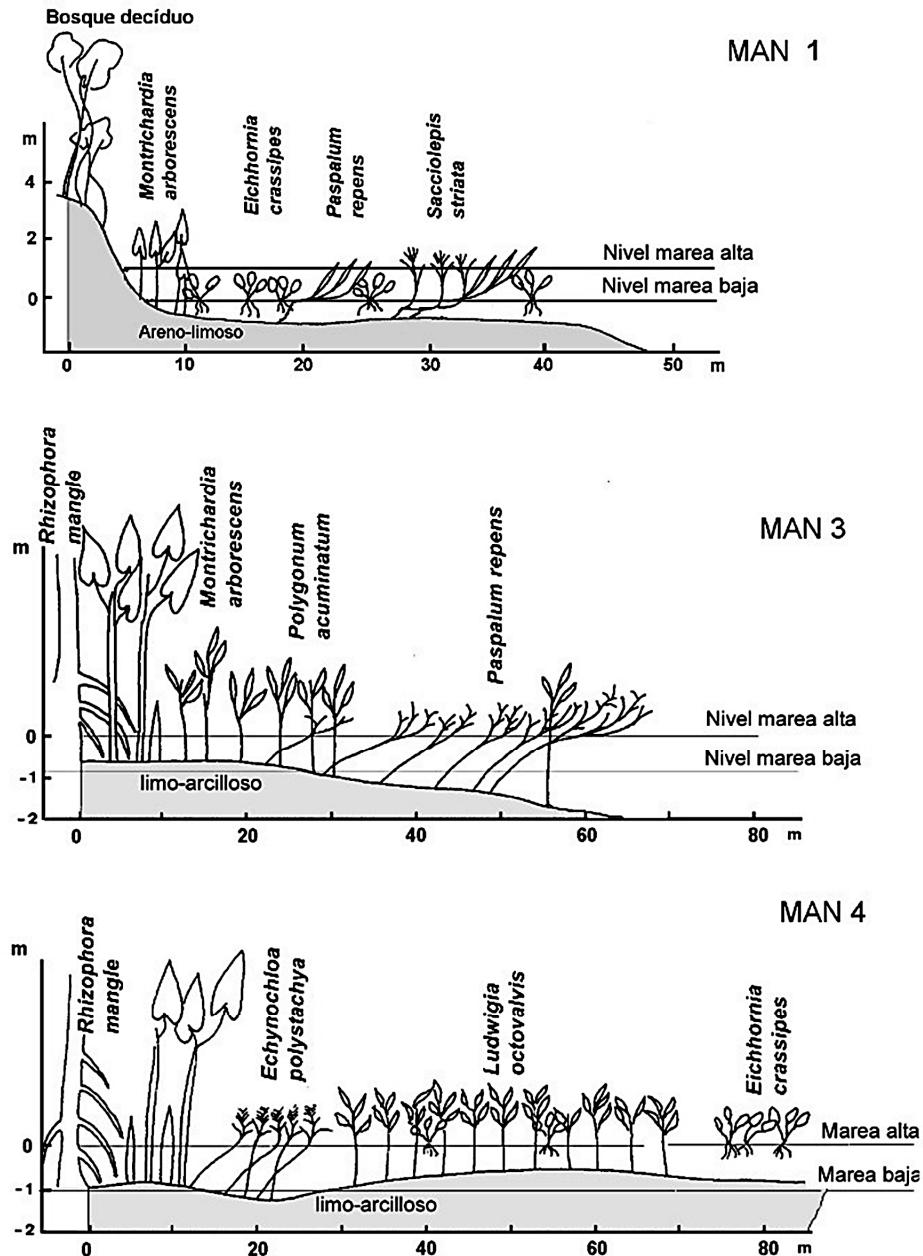


Figura 5. Vegetación asociada a las márgenes de los tramos iniciales del caño Mánamo.

cies emergentes como *Eclipta prostrata*, *Ludwigia octovalvis* y *Eleocharis elegans*, además de *Echinocloa polystachya* y *Paspalum fasciculatum*, que crecen desde la orilla del agua hasta la cima de los diques. Hacia el curso medio (MAC 4, Figura 6) las especies principales que componen las praderas flotantes son *E. crassipes* y *P. repens*, a lo largo de los márgenes del río, y nuevamente *E. polystachya* y *P. fasciculatum* que se alternan en el tope de los bancos del río. Al entrar en el bajo Delta (MAC 5, Figura 6), *E. polystachya*, además de

Eichhornia azurea, son dominantes a lo largo de los bordes externos de las praderas, mientras que en los bancos emerge *Cyperus giganteum*. Más cerca a la desembocadura del caño Macareo las praderas desaparecen y el complejo de orilla entero se cubre con *Rhizophora* spp. y *Crinum erubescens*.

Las mayores diferencias en la composición de las especies entre los dos cauces están asociadas con la morfología y la hidrodinámica, que son diferentes en ambos caños, luego del represamiento del Mánamo

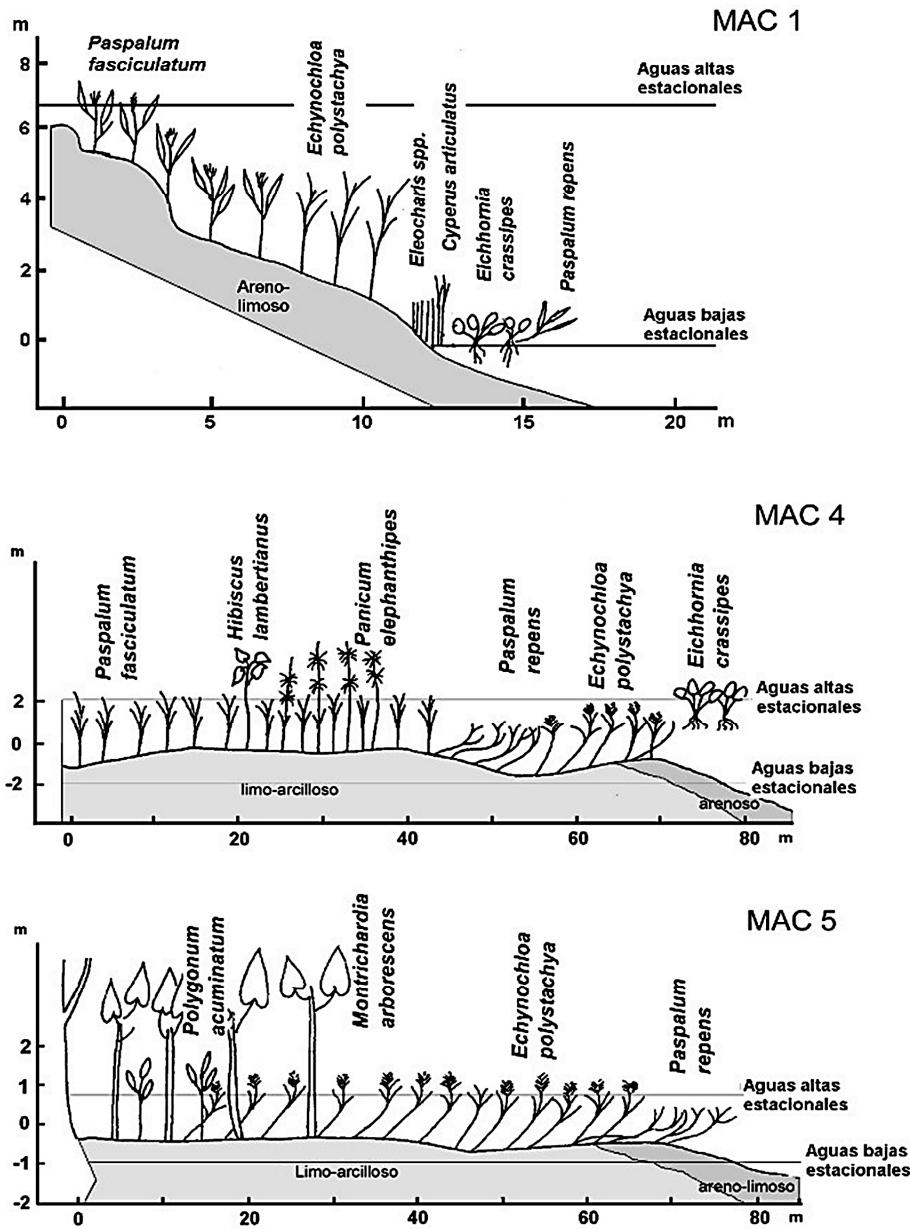


Figura 6. Vegetación asociada a las márgenes de los tramos iniciales del caño Macareo.

(Tabla 5). Por ejemplo, las especies altas emergentes presentes en los bancos altos del Macareo e inesperadamente ausentes de los bancos bajos del caño Mánamo. Otras plantas arraigadas pero de tallos flotantes, *Echinochloa polystachya* y *Eichhornia azucrea* parecieran estar asociadas a velocidades de corriente altas, sólo presentes en el caño Macareo. Similarmente, en caños de gran caudal, como Río Grande o el Araguao, la riqueza de especies es mucho menor, sumando entre flotantes y arraigadas cerca de 15 taxa, mientras que cauces afluentes léticos como los

caños Acoimoto e Ibaruma, tiene una riqueza de hasta 30 especies (Colonnello, 1995).

La vegetación boscosa de los albardones

En el Delta Superior los albardones de los caños están bordeados por bosques altos siempreverdes con estratos inferiores intervenidos, destacando *Spondias mombin*, *Sapium glandulosum*, *Luehea seemanii*, *Cupania americana*, *Ascomium nitens* y *Albizia pistaciifolia* en áreas no anegables luego del cierre del caño Mánamo. A lo largo de los caños Pedernales y Co-

Tabla 5. Algunos parámetros físicos y químicos de los caños Mánamo y Macareo (adaptado de Colonnello, 2001b y Colonnello y Egañez, 2005). La dominancia representa el tipo de especies.

Variable	Caño Mánamo	Caño Macareo
Curso superior:		
Morfología secciones	Sinuosas y estrechas	Rectas y estrechas
Oscilación del agua	~ 1 m - régimen mareal	~ 7 m - régimen estacional
Altura banco /pendiente	3-4 m / 10-20 %	8-9 m / 45-70 %
Velocidad de corriente	Bajo hasta 75 cm s/1	Alto-hasta 155 cm / s
Salinidad	Muy baja -3 10-3 g /l	Agua dulce
Tipo de sedimento	Arenoso	Arenoso
Diversidad de especies	Variable	Variable/ estacionalmente baja
Dominancia	Flotantes - emergentes. Especies de agua dulce	Emergentes - flotantes. Especies de agua dulce
Curso medio:		
Morfología	Alta sinuosidad	Alta sinuosidad
Oscilación del agua	~ 1 m	2-3 m
Altura banco /pendiente	1-2 m / muy pendiente	2-3 m / muy pendiente
Velocidad de corriente	Hasta 60 cm/s	Hasta 130 cm /s
Salinidad	7x 10-3 g/l	0
Tipo de sedimento	Limoso-arcilloso y limoso-arenoso	Limoso-arcilloso y arenoso/aren-arcilloso
Diversidad de especies	Alta	Alta
Dominancia	Especies de agua dulce flotantes	Especies de agua dulce emergentes
Curso bajo:		
Morfología	Sinuoso, ancho	Sinuoso a recto, ancho
Oscilación del agua	~ 1 m	~ 1,5 m
Altura banco /pendiente	1-0 m	1-0 m
Velocidad de corriente	Hasta 55 cm/s	Hasta 120 cm/s
Salinidad	Hasta 8.26 g/l	No determinado
Tipo de sedimento	No determinado	No determinado
Diversidad de especies	Baja	Baja
Dominancia	Halófitas emergentes	Flotantes - emergentes de agua dulce

cuina (Delta Medio) se encuentran bosques de uno a tres estratos, donde destacan *Spondias mombin*, *Virola surinamensis*, *Genipa americana*, *Ceiba pentandra*, *Tabebuia rosea*, *Hermandia guianensis*, *Vismia cayenensis*, *Ficus* spp., *Tapirira guianensis*, *Couroupita guianensis*, *Montrichardia arborea* y *Machaerium lunatum*. En áreas no reguladas (Delta Superior y Medio, caño Macareo) existen bosques medios de tres estratos, siempreverdes y estacionalmente inundables durante períodos cortos; ahí las especies usuales son *Ceiba pentandra*, *Spondias mombin*, *Inga edulis*, *Casearia mariquensis*, *Miconia parasina*, *Bixa urucurana*, *Nectandra pichurin*, *Paspalum fasciculatum* y *Echinochloa polystachya*.

Dentro de lo que se aún se consideraría Delta Superior, pero que degrada hacia el Delta Medio, los albardones a lo largo de los cauces van decreciendo

en altura y en la anchura de las planicies de explamiento, y los períodos de anegación se hacen más prolongados, observándose en consecuencia bosques bajos, con uno a dos estratos y las siguientes especies: *Mouriri guianensis*, *Macrolobium acaciifolium* y *Symerria paniculata* (caño Mariusa). Azonalmente se observan caños como La Tortuga, que conecta los caños Araguaito (aguas blancas) y Mariusa, que muestra albardones profundos en los que se instalan bosques altos y medios florísticamente diferentes: *Ficus* spp., *Nectandra* spp., *Albizia pistaciifolia*, *Inga edulis* y *Alchornea castaneifolia* (Figura 7). En las cercanías de la costa se reduce el relieve, y las diferencias topográficas entre las orillas de los cauces y el interior y los anegamientos son casi constantes por efectos del represamiento causado por las mareas.

Allí, los bosques son variados, por ejemplo, con comunidades de tres estratos con especies emergentes: *Rhizophora mangle*, *Swartzia leptopetala*, *Euterpe precatoria*, *Manicaria saccifera*, *Sympomia globulifera*, *Costus arabicus*, *Acrostichum aureum* (caño Jarina, Delta Inferior). Bosques altos siempreverdes de pantano de *Tabebuia insignis*, *Pterocarpus officinalis* y *Sympomia globulifera* y bosques de *Rhizophora harrisonii* cerca de la costa en el Caño Mariusa (González-Boscán 2011).

A lo largo de la franja costera del delta, los ríos se represan con la acción mareal y la salinidad pasa a ser un factor ecológico restrictivo para muchas especies, por lo que las márgenes se caracterizan por la presencia de bosques (ocasionalmente matorrales o herbazales en el sotobosque), permanentemente anegados en los que se encuentran comunidades halófitas, como de *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans* o más frecuentemente, mixtas, con la combi-

nación de las especies *Rhizophora mangle*, *R. harrisonii*, y *R. racemosa*. Igualmente, hay combinaciones de *Rhizophora harrisonii* - *A. germinans* - *L. racemosa* - *C. erectus* y la de *L. racemosa* - *A. germinans* (Canales 1985, González-Boscán 2011) en ambientes de progradación de baja salinidad cuando las aguas se encuentran con la corriente de la Guayana (sectores costa sureste de isla Tobejuba), deposicionales y erosivas de salinidad media (i.e. sectores noroeste del caño Mariusa). Hacia el interior de los caños los ambientes salinos se diluyen, permitiendo el establecimiento de especies no halófitas tales como *Pterocarpus officinalis*, *Sympomia globulifera*, *Terminalia dichotoma*, *Virola surinamensis* (González-Boscán 2011). Aparte de los tipos de comunidades mencionadas existen varios estadios sucesionales, por ejemplo, cohortes de plántulas de *Spartina alterniflora*, *Avicennia germinans* y *L. racemosa* en la desembocadura de los caños Mánamo, Peder-

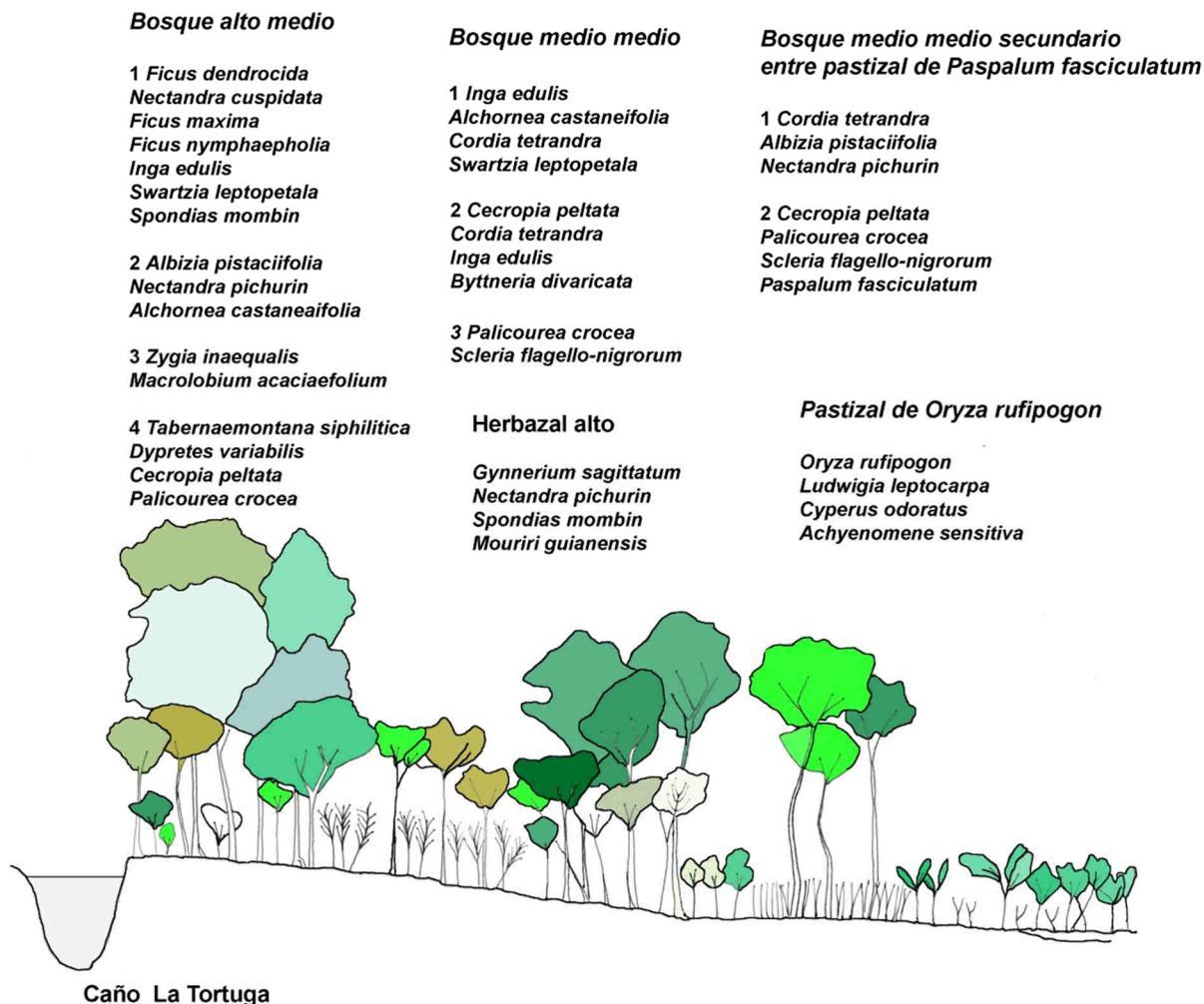


Figura 7. Perfil de las comunidades asociadas al caño La Tortuga que traspasa aguas del caño Araguaito al caño Mariusa. Las comunidades son estructural y florísticamente diferentes, ya que los sedimentos han formado albardeones altos.

nales, Guanipa y Mariusa, mientras que *R. harrisonii* y *R. racemosa* están en la región de Merejina (Colonnelly 2014). Si bien contadas especies de plantas encontradas en los bosques interiores representan nuevos registros a nivel regional (González-Boscán, 2011), en general las taxa reportadas no están en algún estatus de conservación (Llamozas et al. 2003), posiblemente por falta de información adecuada. Solamente especies de amplia distribución en el país, como *Spondias mombin*, *Hura crepitans* y *Rhizophora mangle*, que se hallan en condición de riesgo menor.

3.3. La fauna acuática del delta del Orinoco

La fauna acuática del Delta del Orinoco aquí reseñada se limita a las especies que o bien viven en el agua, como los peces y mamíferos acuáticos o están muy relacionadas con el agua, como algunas aves y reptiles. Los estudios preliminares realizados sobre la fauna íctica indican que la riqueza de especies se halla subestimada. En cuatro caños, Macareo, Pedernales y Mánamo en el arco deltaico y uno en la planicie deltaica, el río San Juan, se reportaron 174, 137, 132 y 168 especies respectivamente (Lasso y Sánchez-Duarte, 2011), a pesar de que deberían tener una riqueza cercana a 200 taxa, dada la magnitud de estos cursos de agua. Muestreos recientes realizados en una de las áreas protegidas que ocupa 11.250 km², cerca de la mitad del arco del delta, además de registros bibliográficos (Bone et al. 2004), han permitido listar 210 especies. La subestimación inicial de la riqueza de especies se debe probablemente a la heterogeneidad del esfuerzo y métodos de captura. Por ejemplo, la fauna bentónica es mejor conocida gracias al uso de la pesca de arrastre en determinados estuarios, donde este arte de pesca es idóneo (ver Lasso et al. 2004 b).

En su globalidad en el delta se han registrado 440 taxa, de las cuales un 39% son de hábitos marinos y estuarinos y un 61% son dulceacuícolas, incluyéndose en 20 órdenes y 82 familias. Los grupos mejor representados son los Characiformes con 132 sp, Perciformes (curvinas, jureles y lisas entre otros) con 101 sp y Siluriformes (bagres) con 87 sp. Se pueden diferenciar algunas familias que son afines a las aguas blancas, cargadas de sedimentos, del cauce principal del río Orinoco y presentes en la mayor parte del área aluvial, y otras afines a aguas negras, y que se restringen al área anegable al sur del delta en las vertientes de la Serranía de Imataca, los ríos Ibaruma, Barima, y Amacuro entre otros (Lasso y Sánchez-Duarte 2011).

Aún dentro del área influenciada por las crecientes anuales del Orinoco, el abanico deltaico mismo, se encuentran áreas que se han diferenciado

por causa del cierre del caño Mánamo, pero de las cuales sólo podemos inferir los cambios acaecidos en su fauna íctica, por la falta de estudios previos al evento, y otras regiones que aún se consideran incógnitas como entre el caño Macareo y el Río Grande, donde predominan aguas de características diferentes. La salinidad y la estacionalidad de las aguas son factores ecológicos fundamentales en los diferentes hábitats y que determinan las mayores diferencias en la composición y abundancia de las especies en cada sector del Delta. Lasso y Sánchez-Duarte (2011) reconocen diez hábitats:

- a) Caños del delta estuarino y barras arenosas del delta oceánico, en los que se pueden reconocer especies de agua dulce que se capturan en la zona estuarina de la desembocadura de los caños en época de lluvia y especies marino-estuarinas entre el límite de influencia de las aguas salobres y las barras arenosas externas.
- b) Zona estuarina de la desembocadura de los caños, con especies dulceacuícolas bentónicas como peces eléctricos (*Sternachella* spp) y como bagres loricáridos y pimelódidos (*Loricaria* cf. *cataphracta* y *Pimelodina flavipinnis*).
- c) Aguas salobres en las barras externas, donde se encuentran organismos que toleran diferente grado de salinidad, desde aguas extremadamente eurihalinas, en que viven por ejemplo el sábalo (*Megalops atlanticus*); marcadamente eurihalinas con el lenguado (*Trinectes paulistanus*); moderadamente eurihalinas con la raya blanca (*Dasyatis guttata*) o el bagre (*Bagre bagre*); y débilmente eurihalinas, en que se hallan el bagre guitarra (*Aspredinichthys tibicens*) o la curvina (*Cynoscion leiarchus*).
- d) Pozos y caños intermareales en las que se han identificado 12 especies, destacando guabinas (*Guavina guarina*) y góbidos (*Gobionellus oceanicus*).
- e) La zona pelágico-bentica, aguas abiertas y fondo de cauce, donde se encuentran los bagres marinos (Ariidae), curvinas, curvinatas y burritos (Sciaenidae), y camiraguanas y anchoas (Engraulidae).
- f) Playas y praderas flotantes de los caños, hábitats bastante similares en todo el Delta Medio y Superior. En las playas, en que se observa una mayor diversidad nocturna (20 sp), que diurna (14 sp) se consiguen especies como el morocoto (*Piaractus brachypomus*), bagres rayaos (*Pseudoplatystoma* spp) y valentones (*Brachyplatystoma* spp) entre otros. En las praderas flotantes se hallan, por un lado, taxa iguales a ambientes estuarinos costeros (*Polycentrus shomburgkii*, *Poecilia picta*), en los caños Cocuina y Pedernales, y por otro lado, más al sur en el caño Winikina, peces cuchillo o eléctricos (*Eigenmannia*

- virescens*), y microcarácidos (*Ctenobrycon spilurus*, *Charax notulatus*).
- g) Charcos temporales y canales de drenaje en bosque de pantano, con una riqueza de 47 especies en los bosques con inundación permanente (*Hoplías malabaricus*, *Gymnotus carapo*), y 20 especies con inundación temporal (*Erythrinus erythrinus*, *Copella metae*).
 - h) En los pozos y lagunas de los morichales se encuentran el pirrulina (*Pyrrhulina filamentosa*), un microcarácido (*Megalamphodus axelrodi*) y el gupi (*Poecilia picta*). En las sabanas aisladas de los cursos de agua se pueden observar el falso pez hoja (*Polycentrus shomburgkii*) y el gupi.
 - i) En los bosques de pantano anegados, dominan el pez anual *Rivulus deltaphilus* y la pirrulina. En los charcos temporales que quedan al retirarse las aguas estacionales, se han encontrado, entre otras dos especies de viejitas (*Nannacara quadrispinae* y *Cichlasoma taenia*).
 - j) En los herbazales de pantano dominan la pirrulina y *Megalamphodus axelrodi*.

En el sistema deltaico han sido reportadas además 129 especies de mamíferos, de las cuales tres son especies exclusivamente acuáticas; la tonina del Orinoco (*Inia geoffrensis*), la tonina costera (*Sotalia guianensis*) y el manatí (*Trichechus manatus manatus*) (Linares y Rivas 2004, Portocarrero-Aya *et al.* 2010, Rivas *et al.* 2012); además de la nutria (*Pteronura brasiliensis*) ampliamente distribuida en el sistema del delta (Sánchez-Hernández y Bisbal 2015) y otras como el chigüire o el perro de agua (*Lontra longicaudis*) en el Delta Superior, que utilizan intensamente el ambiente acuático (Aranguren *et al.* 2015). Las zonas anegadas de poca profundidad y corriente representan hábitats ideales para los manatíes, quienes encuentran en estos lugares las plantas y pastos flotantes de los que se alimentan (Linares y Rivas 2004). Estos animales suelen hacer migraciones entre los canales principales durante las aguas bajas y las planicies anegadas durante las aguas altas buscando nuevos comederos (Rivas *et al.* 2012).

En el delta también se han reportado áreas con altas densidades de toninas del Orinoco, que se encuentran ampliamente distribuidas en toda la cuenca, (Herrera-Trujillo 2013). La gran flexibilidad del cuerpo de estos delfines les permite desplazarse eficientemente a través de raíces y troncos en busca de alimento durante la temporada de aguas altas (Portocarrero-Aya *et al.* 2010, Trujillo *et al.* 2010, Herrera-Trujillo 2013). Por su parte la tonina costera cuya presencia en el Orinoco se restringe a la parte baja de la cuenca y el delta, parece preferir zonas más pro-

fundas, manteniéndose en el cauce principal de los caños. Por su parte las nutrias y los perros de agua, a pesar de utilizar los ambientes terrestres, dependen de los cuerpos de agua para conseguir el alimento, ya que se alimentan principalmente de peces (Aranguren *et al.* 2015, Sánchez-Hernández y Bisbal 2015).

La variedad de comunidades vegetales acuáticas y terrestres que se observan en el Delta del Orinoco se traduce en una alta diversidad de aves que las utilizan para alimentarse y anidar. Los estudios especializados realizados en la zona son muy pocos; los más interesantes son recientes (Lentino 2004 y E&E 2004): el primero realizado en la desembocadura del Caño Mánamo entre las islas Venado y Capure; el segundo en la Reserva de Biosfera Delta del Orinoco.

La desembocadura del Caño Mánamo es un espacio de neta influencia marina con abundancia de manglares donde se observan además: hábitats litorales, playas, marismas, lodazales, herbazales y lagunas de agua dulce así como áreas intervenidas (cocotales y bosques secundarios). El bosque secundario es el que mostró mayor riqueza de especies (91), seguido del manglar (61), el herbazal y laguna de agua dulce (48) y la playa (32). Los hábitats litorales son los que presentaron la menor riqueza de especies (15). En total se identificaron 365 taxa, de las cuales 85 son acuáticas. Las especies que pueblan el manglar se alimentan mayoritariamente de invertebrados aunque las hay omnívoras como el gonzalito (*Icterus nigrogularis*), insectívoras como el hormiguero copetón (*Sakesphorus canadensis*), el trepador subesube (*Xiphorhynchus picus*) y el güíto de agua (*Certhiaxis cinnammomea*) o frugívoras como el loro guaro (*Amazona amazónica*). Por su parte, las playas y marismas que varían su morfología a lo largo del año por las acción de las corrientes y mareas, tienen especial interés por presentar la mayor diversidad de especies migratorias. Las aves marinas más abundantes son la cotúa olivácea (*Phalacrocorax olivaceus*) y el salteador parásito (*Stercorarius parasiticus*).

La RBDO, de mayor extensión, presenta ecosistemas más influenciados por el agua dulce: bosques de pantano (incluyendo los ambientes acuáticos asociados), herbazales inundables, islas boscosas, bosques ribereños secundarios, morichales y ambientes intervenidos, así como otros de neta influencia marina: bosques de manglar, playa atlántica y playas limosas. Por todo ello, aunque las especies son similares en ambas zonas cambia la relación de abundancia entre ellas. Al norte son más abundantes las relacionadas con el manglar y las playas; en la RBDO son abundantes los psitácidos, especialmente loros y guacamayas, y los Cracidae (pavas y paujies). Al igual que en el norte, son muy abundantes las corocoras

roja y blanca (*Eudocimus ruber* y *E. albus*). En las playas limosas se concentran para alimentarse: el playero cabezón (*Pluvialis squatarola*), el playerito occidental (*Calidris mauri*) y el playero coleador (*Actitis macularia*).

Un elemento, hasta ahora menos conocido, es la importancia del delta como área de paso para las aves migratorias, que utilizan los manglares para descansar, o aprovechan las playas y marismas para alimentarse. El águila pescadora, (*Pandion haliaetus*) y halcón peregrino (*Falco peregrinus*), así como varios playeros, lo hacen desde el norte. Se estima en 190 las especies que utilizan el delta en sus migraciones, ya sea desde el norte o del sur (E&E 2004).

Por otro lado, la zona tiene un gran potencial para el turismo ecológico orientado principalmente a la observación de aves: loros, guacamayas y corocoras roja, entre otras. Por ejemplo, se han llegado a observar bandadas cercanas a los 20.000 ejemplares, entre las diferentes especies que utilizan estas islas como dormidero. Finalmente, la presencia en grandes cantidades del pato real (*Cairina moschata*) puede llegar a convertirse, si no se regula su aprovechamiento, en objeto de cacería intensa y sus poblaciones se verán seriamente amenazadas, en forma similar a lo ocurrido con los psitácidos.

4. AMENAZAS

La amenaza previsible del aumento del nivel del mar, un metro en los próximos 90 años, generará cambios parecidos a los observados en la subcuenca del caño Mánamo como consecuencia de la construcción del dique en los años 60. El impacto sobre la flora y la fauna ocurrirá paulatinamente por lo que la transformación será, posiblemente, imperceptible aunque inevitable. Las amenazas procederán más, como hasta ahora, de las actividades humanas, de las que ya se ha hecho mención, que del nivel del mar. La cacería ilegal, el empleo de artes de pesca destrutivas o la captura de ejemplares para el comercio o como mascotas, activas desde hace mucho tiempo, son las verdaderas amenazas sobre la fauna terrestre y acuática. El aumento del nivel del mar las incrementaría al invadir nuevos espacios, cambiar la composición de las aguas y generar cambios en la vegetación. Mamíferos acuáticos, aves y peces han sido aprovechados por los pobladores del delta desde tiempo inmemorial aunque bajo diferente grado de intensidad. Los primeros son, sin duda alguna, las especies más vulnerables. La cacería ilegal del manatí para el consumo de la carne ha sido, históricamente, una de las mayores amenazas y la principal responsable de la disminución de sus poblaciones en los últimos 50 años, seguido de las

capturas accidentales de crías en redes de pesca y la colisión con embarcaciones (Rivas *et al.* 2012).

Para los delfines de río el tráfico de embarcaciones y las actividades turísticas no reguladas representan las mayores amenazas en todo el delta (Portocarrero-Aya *et al.* 2010, Trujillo *et al.* 2010); mientras que nutrias y perros de agua son especialmente susceptibles a su captura para uso como mascotas (Rodríguez *et al.* 2015). El chigüire es la especie que recibe el mayor impacto por la cacería. La situación se hace más preocupante pues varias especies se encuentran en categoría de amenaza. El manatí es considerado en peligro crítico (CR) de extinción y ambas especies de delfines se encuentran como vulnerables (VU) (Rodríguez *et al.* 2015). La nutria se encuentra en peligro (EN) (Sánchez-Hernández y Bisbal 2015), mientras que el perro de agua se encuentra en categoría vulnerable (VU) (Rodríguez *et al.* 2015).

Otras especies vinculadas con los espacios acuáticos como el chigüire y la baba son objeto de cacería intensa pero sus poblaciones no están amenazadas, como tampoco lo están las aves que ocupan los manglares y los hábitats litorales a juzgar por lo observado en la desembocadura del caño Mánamo (Lentino, 2004), al compararla con lo observado en la RBDO (E&E 2004). Probablemente continuará la reocupación de algunas zonas por especies acuáticas que reemplazarán a las terrestres.

La aparición y desaparición de islas, playas y canales, la ocupación de los nuevos espacios por la vegetación y la fauna acuática determinarán cómo sucederá ese reemplazo. Los psitácidos (loros, cotorras y guacamayas) a pesar de estar sometidos a una cacería más intensa, principalmente como mascotas, están muy bien representadas por todo el delta lo que muestra su excelente capacidad de adaptación a diferentes ambientes lo cual sugiere que no son especies amenazadas (E&E 2004), aunque su presencia permanente en los mercados sugiere que las capturas con fines comerciales son importantes (Marín-Espinoza, et al. 2011). La situación es más delicada con otras especies de aves altamente apreciadas en la cacería, como el pato real (*Cairina moschata*), la pava de monte (*Penelope purpurascens*), la pava rajadora (*Pipile pipile*) y el paují culo blanco (*Crax alector*).

5. SECTORIZACIÓN DEL DELTA

La primera subdivisión del Delta del Orinoco en superior, medio e inferior (Canales 1985) tomó como punto de partida el análisis de factores de tipo físico-natural: hidrología, drenaje, sedimentología, vegetación, geomorfología, topografía y distribución de los

sedimentos; no tuvo en cuenta los cambios ambientales y morfológicos derivados de las dos grandes intervenciones antrópicas ya discutidas. En los últimos años se han incorporado visiones complementarias que amplían la versión original o proponen nuevas divisiones.

Warne et al. (2002) subdividen el Delta en dos sectores: Sector sur, entre el Río Grande y el Caño Araguao, dominado por los ríos y las mareas, y Sector norte al norte del Caño Araguao, regido por las precipitaciones y las mareas, además de tres sectores paralelos a la costa. González (2013), propone una nueva sectorización del Delta del Orinoco, donde mantiene el Delta Superior pero elimina el Delta Medio y el Inferior y propone una nueva división basada en que la marcada diferencia del número de distributarios y la coloración de las aguas de los caños del área evidencia el origen separado de las mismas (Figura 8). Los profundos cambios, la colmatación de numerosos caños y el aumento de la influencia marina que ha experimentado la mitad norte del Delta del Orinoco como consecuencia del control en el caudal del Mánamo frente al resto del delta, son la base que nos ha llevado a proponer una nueva sectorización para el delta: intervenida y no intervenida.

Nuestra propuesta (Figura 9), si bien coincide en varios puntos con las anteriores, parece más adecuada para la evaluación y comparación entre los diferentes sectores del delta y se establecen diferencias derivadas de la regulación del Caño Mánamo y las permanentes actividades de dragado del canal principal del Orinoco. El área intervenida ha quedado totalmente desvinculada de los procesos que ocurren en el resto del delta. Su principal ventaja es que

sugiere que una evaluación de la zona sin intervenir frente a la intervenida se convierte en una guía de lo que se puede esperar como consecuencia de la elevación del nivel del mar (Colonello 2003).

6. ¿EL DELTA DEL ORINOCO INTERVENIDO?

Las dos principales intervenciones que ha experimentado el Delta del Orinoco: dragado permanente del canal de navegación del Orinoco y la construcción de un dique sobre el caño Mánamo han introducido cambios importantes: el primero en el sur oeste delta y el segundo en la mitad norte. Los efectos del dragado no han sido evaluados convenientemente y los relacionados con la construcción del dique han recibido mayor atención. Los impactos generados en la mitad norte incluyen aspectos físico naturales y sociales; los primeros han sido muy estudiados y divulgados. Los impactos relacionados con la población criolla y, especialmente la Warao, pasaron casi desapercibidos: el cierre total del caño durante varios meses generó descomposición de sus aguas causando enfermedades y muertes en Tucupita y caseríos cercanos; varias comunidades Warao asentadas en el caño Mánamo y caños secundarios debieron mudarse a Tucupita, la isla Manamito e islas cercanas, la agricultura sufrió una fuerte depresión y casi toda la población del estado Delta Amacuro se concentró alrededor del sistema vial construido paralelo al caño Mánamo y en forma radial desde Tucupita a varias poblaciones aledañas.

El caño Mánamo experimentó modificaciones importantes en los primeros años, luego ha ido estabilizándose y se ha adaptado a la nueva situación, poblaciones biológicas nuevas ocupan los espacios intervenidos; los cambios que experimenta actualmente, al igual que en los caños Pedernales y Capure, son lentos y por ello difícilmente observables en el día a día. Los que quedaron colmatados o reducidos a un hilo de agua, están casi cegados o convertidos en caños de marea y han adoptado una forma de vida cónsena con su nueva situación por lo que sólo los estudios especializados y comparaciones entre unos y otros y con las investigaciones antiguas evidencian los cambios. Es por ello, y por la extraordinaria capacidad de recuperación observada en los lugares intervenidos por lo que afirmamos que el Delta del Orinoco está poco intervenido y que lo observado en el caño Mánamo pudiera convertirse en guía frente a lo esperado con la elevación del nivel del mar. La excepción la constituyen los ejes viales que unen Tucupita con el cierre, con puerto de Volcán y con las poblaciones San Rafael, La Horqueta y Los Guires, que concentran la mayor parte de la po-

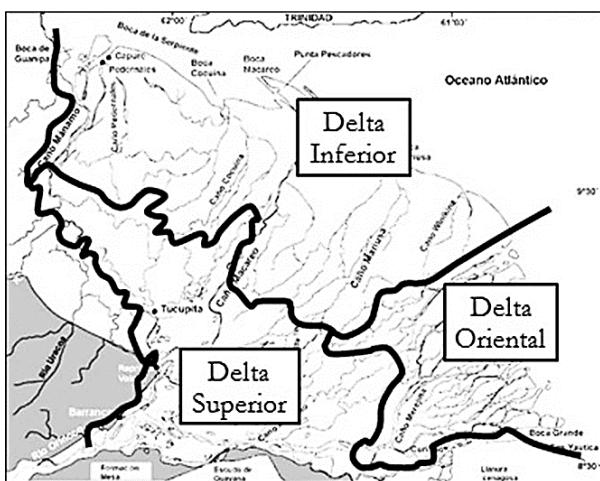


Figura 8. Sectorización del Delta donde se propone un Delta Superior, un Delta Inferior y un Delta Oriental. Modificado de González (2013).

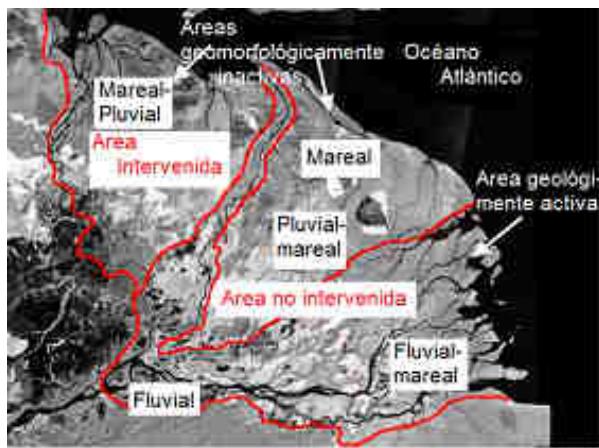


Figura 9. Nueva propuesta de sectorización del Delta del Orinoco.

blación criolla. En esos espacios la intervención humana es evidente. Los espacios deforestados para aprovechar la madera o dedicarlos a la agricultura o la ganadería han quedado como tales o han tenido una recuperación más lenta.

El dragado del canal de navegación entre mar abierto y Ciudad Guayana y los impactos que ocasiona son activos todavía. Como el material dragado no se retira si no que se dispone a los costados del canal se están generando acumulaciones de sedimentos en diferentes lugares del cauce principal del río Orinoco y en el ápice del delta se observa crecimiento sostenido de dunas e islas. El caño Araguaito ha reemplazado al Araguao en importancia como distribuidor de segundo orden; la margen izquierda del Orinoco entre el ápice y el nacimiento del caño Araguaito muestra bandas de sedimentos invadidos por la vegetación en un gradiente de crecimiento. Adicionalmente, en tramos donde los albardones estaban más desarrollados se ha observado el proceso inverso. La navegación continuada de buques de gran calado así como el incremento de lanchas rápidas generan oleaje que impacta permanentemente contra los albardones, los debilitan, erosionan y, en consecuencia, se producen derrumbes. Estos impactos son importantes localmente y afectan el canal principal del Orinoco. La zona no afectada directamente por esos dos impactos, especialmente el triángulo que forman el río Grande, incluye el caño Araguao y la línea costera está ocupada principalmente por la etnia Warao; esta última, gracias a las medidas sanitarias y de atención médica aplicadas, ha mejorado su expectativa de vida con el consiguiente crecimiento de su población y la creación de centros poblados. Como consecuencia, la presión por los recursos de origen vegetal y animal, la ocupación de espacios

altos para vivienda y cultivos se están convirtiendo en una intervención débil pero continuada que amenaza la sostenibilidad de los recursos naturales. La Tabla 6 resume las perturbaciones observadas en las diferentes secciones del Delta del Orinoco, incluyendo también los impactos potenciales, aunque previstas dado el incremento de las actividades industriales en la cuenca, y la elevación del nivel del mar como una de las consecuencias del cambio climático (ver también Méndez et al. 2017).

7. CONSERVACIÓN DEL DELTA DEL ORINOCO: UNA PROPUESTA

Los humedales costeros, los deltas entre ellos, son los ecosistemas que experimentarán mayor impacto como consecuencia de la elevación del nivel del mar. Aquellos que se encuentran menos intervenidos y con menor población, sufrirán más daños que los más intervenidos (Vegas-Vilarrubia 2015). Algunos deltas están densamente poblados y con actividades productivas muy importantes, especialmente agrícolas, como ocurre en los deltas del Ganges, Mekong y el Nilo, pero también extractivas (petróleo), como en el Níger. Aunque la población del Delta del Orinoco es mucho menor que en aquellos, son importantes los espacios donde conviven la etnia Warao y la población criolla; a pesar de ello y de su gran valor ambiental, geopolítico y estratégico, la enorme extensión del delta hará imposible proteger todo el territorio ante el incremento del nivel mar. Esta situación, que es aplicable a todos los grandes deltas, hace necesario poner en práctica mecanismos que ayuden a prevenir y remediar, aunque sea parcialmente, los impactos esperados.

La atención a los actuales ocupantes del delta no debiera ser extremadamente complicada ya que sus áreas de ocupación son limitadas. Los criollos están concentrados en la zona protegida por el dique y los miembros de la etnia Warao viven mayoritariamente en los caños, principalmente en caño Araguao y caños vecinos: Guayo, Sacupana, Araguaimujo, Araguabisi, etc. En ambos casos, sus actividades económicas productivas son muy limitadas y son en gran medida de subsistencia. Si bien, a primera vista, la elevación del nivel del mar no pareciera representar un inconveniente grave para la población Warao ya que la mayoría vive en palafitos y han manejado a lo largo de su historia tanto las crecidas periódicas como las extraordinarias del río Orinoco, podría serlo para los espacios ligeramente elevados, albardones, aprovechados en la actualidad para desarrollar algunos cultivos. El acceso al agua dulce podría convertirse en problema más serio y obligar a migración en su búsqueda, especialmente para indígenas

Tabla 6. Perturbaciones observadas en el Delta del Orinoco como consecuencia de las dos grandes intervenciones pasadas, cierre y dragado, y potenciales derivadas de los nuevos impactos incluido la elevación del nivel del mar. La figura 10 muestra algunos ejemplos.

Ríos y caños	Perturbaciones	Ejemplo	Caso
Pasadas:			
Caño Mánamo. Agrupando: Pedernales, Cocuina, Capure y Tucupita	Hidrológicas	Supresión crecientes anuales	Reducción transporte de sedimentos
	Químicas	Acidificación de aguas y suelos	Delta Superior
	Geomorfológicas	Aparición de islas, colmatación caños	Cegamientos, caños Cocuina, Tucupita, Capure
	Biológicas	Sustitución de especies	Plantas acuáticas y especies ícticas
	Sociales	Desplazamiento de Indígenas	Cambios en patrones de subsistencia, hacinamiento en poblados
	Calidad de aguas	Poblaciones	Aumentos en contaminantes fecales y domésticos
Actuales:			
Río Grande	Dragado permanente	Costas del Delta Superior, cegado parcial de caños	Mantenimiento canal de navegación. Caños Aragua y Araguaito
	Tráfico de buques de gran calado. Aumento de botes que navegan a gran velocidad	Aumento del oleaje por embarcaciones	Erosión de las escarpas
Potenciales:			
Caño Mánamo	Accidente petrolero	Rotura de pozo	Pedernales
Río Grande	Contaminación industrial	Lodos rojos (Bauxita) Derrame de combustible y carga de buques grandes	Mora (2014), Mora et al (2017). Vaciado de tanques de combustible por varadura.
Desembocadura de caños	Sobre pesca	Uso indiscriminado de pesca de arrastre en las zonas costeras	Novoa (2000), Lasso el al. (2004a)
Áreas costeras e interiores	Incremento nivel del mar	Mayor influencia de la cuña salina, cambios físicos-químicos y bióticos, cambios en la ocupación del territorio por las comunidades indígenas y criollas	Los efectos observados por el represamiento del caño Mánamo pueden considerarse un modelo de lo que ocurriría en todo el Delta.

que viven cerca del mar, aunque en la actualidad esto ocurre ocasionalmente, el avance del agua salada podría convertir la necesidad ocasional en algo permanente. La necesidad de migrar tierra adentro, especialmente hacia las zonas más altas en busca de espacio seco, agua y comida, puede convertirse en fuente de conflictos tanto para las poblaciones indígenas como para las criollas. Por ejemplo, al salinizar permanentemente algunas áreas costeras del caño Mánamo, los indígenas debieron ser reubicados en las cercanías de Tucupita (Pepeina y Guaca-

jara), lo que generó conflictos y la sobreexplotación de los recursos (Colonnello 2001b).

Los cincuenta años luego de la construcción del dique han permitido al caño Mánamo adaptarse a su nueva condición. En consecuencia, cualquier solución para la protección de otras áreas del delta debería pasar por la valoración adecuada de los problemas experimentados en el delta desde el inicio de la intervención de ese caño y su evolución posterior, así como en las soluciones planteadas. Hasta ahora, la elevación histórica del nivel del mar



Figura 10. (a) Caño Imataca (con aguas blancas), que es un distributario del caño Grande y (b) vistas de un buque transportador de mineral de hierro en Río Grande. (c) Ápice del delta con acumulación de sedimentos fluviales que mantienen procesos formativos de islas y meandros y (d) caño Cocuina, colmatado a la altura del puente El Garcero. (e) Una vista clásica del bajo delta, donde se ubican poblaciones como Curiapo, habitadas por criollos y Waraos. Todas las fotografías de los autores.

permitió la formación y crecimiento del Delta del Orinoco. La tasa de aumento fue tan lenta (1,5 mm/año), que vino a facilitar ese proceso. Sin embargo, las predicciones no son halagüeñas y se prevé el aumento más acelerado del nivel del mar, cerca de un metro en este siglo. Desconocemos la capacidad de respuesta del delta considerado como un gran ecosistema y el efecto de los manglares como protectores de la costa. Se estima que el agua salada invadirá mayores espacios y los manglares, aunque pudieran mantener las costas como en la actualidad, continuarán avanzando delta adentro; las comunidades animales y vegetales estuarinas reemplazarán lentamente a las dulceacuícolas, hecho observado en el Caño Mánamo. Sin embargo, al aumentar el nivel del mar el efecto de las mareas será más profundo en los caños y durante su fase ascendente y en la pleamar contendrán al río Orinoco y los materiales sólidos que transporta se sedimentarán en los cauces menores y en las islas más bajas, favoreciendo así la consolidación del delta, como ha ocurrido en los últimos 7000 años. Al final, la respuesta del Delta del Orinoco ante los cambios depende tanto del tiempo que dure el ciclo de elevación del nivel del mar (especialmente de la velocidad de ese ascenso), de si éste es continuado o se intercalan períodos de estancamiento e incluso regresiones, de la regularidad en la llegada de sedimentos a los caños y las islas. En el tiempo debiera alcanzarse un equilibrio casi dinámico, aunque suponemos ligeramente en favor del mar. Lo anterior se relaciona con tres posibles vías para mitigar y enfrentar los impactos en áreas costeras y deltaicas: la protección de personas y bienes a través de obras de ingeniería, la adaptación de las actividades humanas y el retiro de las infraestructuras, o el abandono de las áreas sujetas a impacto (IPCC 2013).

Nuestras propuestas

Enfrentar un dilema de esa naturaleza pareciera no tener muchas opciones y, sin duda alguna, se protegerá a las personas y sus intereses económicos antes que a los ecosistemas y sus comunidades, no importa cuál sea su valor ambiental, como ha estado ocurriendo a lo largo de la historia. Sin embargo ¿cuántos países cuentan con la tecnología especializada o los recursos económicos para construir y luego mantener en el tiempo las construcciones ante una amenaza como la vaticinada en los próximos cien años? Probablemente, la experiencia desarrollada les ayudará a encontrar alguna solución, aunque sea solamente parcial. Es inviable desde el punto de vista económico proteger en su totalidad los grandes deltas altamente intervenidos y poblados. Por consi-

guiente será preciso escoger qué áreas se protegerán en función de la población y sus intereses económicos y cuáles por su valor ambiental. Por ello, sugerimos las siguientes recomendaciones orientadas a mitigar los efectos de la elevación del nivel del mar y preparar a la población para enfrentar los nuevos retos que se derivarán de ese fenómeno:

Obras ingenieriles: evitar, hasta donde sea posible, la construcción de grandes obras de ingeniería. De ser necesarias, realizar los estudios ambientales previos, puesto que lo observado en el caño Mánamo sugiere que las intervenciones de este tipo fueron casi todas negativas.

Investigación: realizar ya estudios interdisciplinarios en el caño Mánamo y demás caños afectados (Tucupita, Cocuina, Pedernales, Capure y Angostura) para comprender su evolución y proceso de adaptación al impacto recibido hace 50 años con el fin de prever, prepararse y paliar el aumento en el nivel del mar. Luego realizar un estudio piloto; para ello sugerimos tomar ventaja del cierre del caño -que permite variar el flujo de agua- y aumentar en forma paulatina el volumen de agua que atraviesa el dique; después se esperarían unos años, tal vez cinco, y se realizaría un nuevo estudio en condiciones similares que el estudio piloto. Si en la actualidad el caudal de 200 m³/s del Mánamo logra contener y hacer retirar a la cuña salina casi por completo en algunos meses del año podemos suponer que si se duplica ese volumen y se mantiene similar durante todo un año se podría limitar, aunque sea parcialmente, el avance de la cuña salina, como ocurre en la actualidad en los caños Macareo, Araguao o en el río Grande. Considerando los resultados del estudio anterior, se realizaría una evaluación de la sensibilidad ambiental de todo el Delta del Orinoco, lo que permitiría expresar a través de mapas la vulnerabilidad de cada área frente a los eventos de perturbación, naturales y antrópicos, que pudieran alterar sus valores ambientales. En consecuencia, se dispondría información suficiente para establecer planes de ordenación territorial y decidir qué áreas se protegerán en función de la población y sus intereses y cuáles por su valor ambiental y cuáles no. Esta evaluación sería complementaria de la ya realizada en el 2008 en la Reserva de Biosfera Delta del Orinoco y su área de influencia cuyos resultados muestra la figura 11 (Buitrago et al. 2008).

Educación para el trabajo productivo y la innovación en ambientes cambiantes: preparar a la población, especialmente de aquellas comunidades que experimentarán los impactos más fuertes, parti-

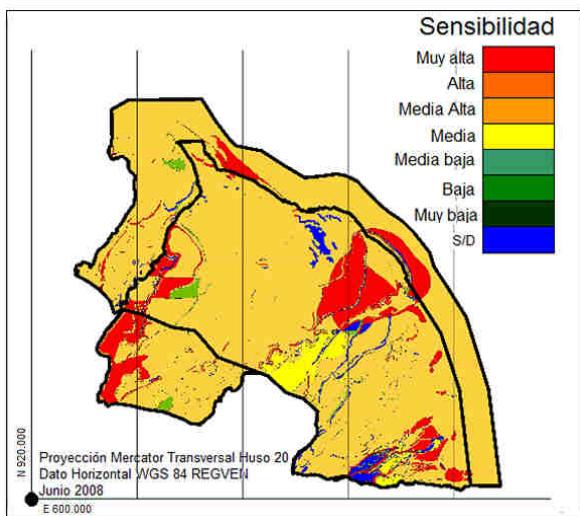


Figura 11. Mapa de sensibilidad ambiental de la Reserva de Biosfera Delta del Orinoco (Buitrago et al. 2008).

cularmente a la etnia Warao. Especialmente vulnerables serán las poblaciones criollas Capure, Pedernales y Curiapo así como las comunidades indígenas que están diseminadas por toda la zona costera. Actualmente tanto criollos como waraos realizan diversas actividades productivas la mayoría de subsistencia (pesca, agricultura, cría de animales domésticos, etc.) y otras para la generación de recursos económicos (excedentes de las actividades de subsistencia, artesanía, turismo, etc.) que deberán reevaluarse, tecnificarse y readaptarse a las condiciones cambiantes que se deriven del aumento del nivel del mar. Es muy importante iniciar el proceso con los indígenas con la finalidad de que los cambios necesarios se realicen dentro del respeto por sus tradiciones y cultura. Los Warao tienen una manera particular de transmitir los conocimientos; por ello, será esencial incorporar antropólogos si no se quiere romper el frágil equilibrio en que se encuentra esta etnia debido a la gran presión que actualmente ejercen sobre ella otras culturas y se corra el riesgo de perder su rica herencia cultural que les dio todos los conocimientos necesarios para sobrevivir en este ambiente que ha estado sometido a cambios en los últimos miles de años.

Si se tiene en cuenta que los riesgos previstos para el Delta del Orinoco aplican también a numerosos humedales costeros: pantanos de Monagas y Sucre, lagunas costeras como La Restinga, Tacarigua, Unare, Píritu o el Lago de Maracaibo y las costa bajas de los estados Anzoátegui, Miranda, Carabobo, Yaracuy y Falcón proponemos la creación de un centro de investigaciones hidrobiológicas y tecnológicas cuyos objetivos sean, por un lado, el seguimiento permanente de la evolución de los humedales fluvia-

les costeros ante la elevación del nivel del mar y, por otro, el desarrollo y adaptación de tecnologías aplicables a ecosistemas tan diversos ya probadas a lo largo y ancho del planeta, en cuanto a la producción agrícola y pecuaria, la tecnología pesquera y los cultivos de especies dulce acuáticas y marinas.

REFERENCIAS

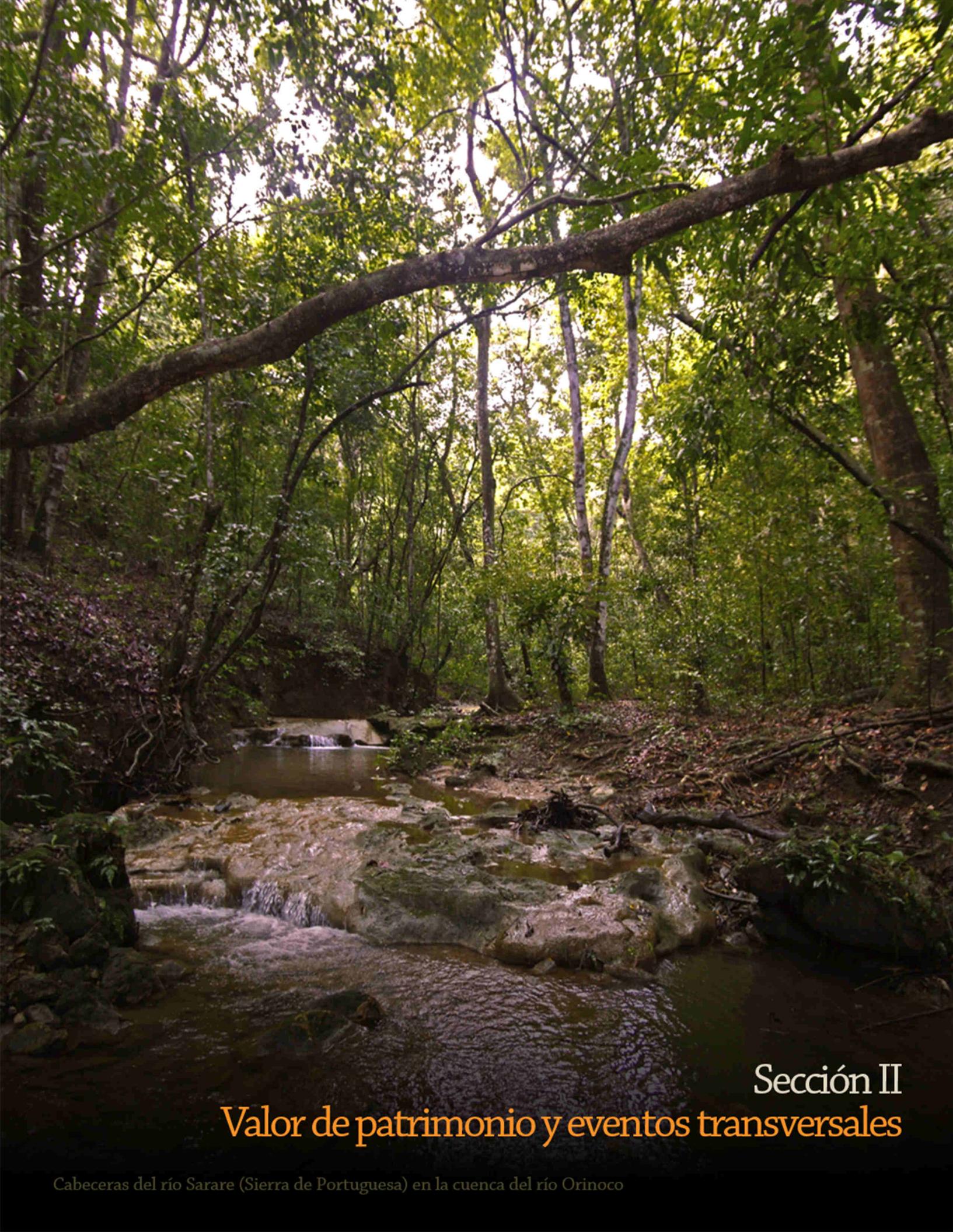
- Aranguren, C. I., Rangel-Gutiérrez, Y. y Soriano, P. J. 2015. Perro de agua pequeño, *Lontra longicaudis*. (pp: 101) En: Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A., y Rojas-Suárez, F. (Eds.). *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar, Caracas, Venezuela.
- Ascanio, G. 1997. Formación Mesa. *Boletín de Geología*. 31: 63-69.
- Bone, D., Martín, A., Machado, A. (Eds.). 2004. *Conservación y uso sustentable de la diversidad biológica en la Reserva de Biósfera y los humedales del Delta del Orinoco. Evaluación Ecológica Rápida de la fauna acuática*. Intecmar, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela.
- Buitrago, J., Barroeta, M. A., Fajardo, M. E., Rada, M., Monente, J. A. y Egañez, H. 2008. Consultoría para el análisis de sensibilidad ambiental de la Reserva de Biosfera Delta del Orinoco y su área de influencia para el Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso. Proyecto PNUD-GEF VEN /99/G31 "Conservación y uso Sustentable de la Diversidad Biológica en la Reserva de Biosfera y los Humedales del Delta del Orinoco". Caracas, Venezuela.
- Butenko, J. y Barbot, J. P. 1979. Características geotécnicas de los sedimentos marinos costafuera Delta del Orinoco. (Vol. 1:144-154 *Fourth Latin American Geological Congress Trinidad and Tobago*. Port of Spain. Trinidad-Tobago).
- Canales, H. 1985. *La cobertura vegetal y el potencial forestal del T.F.D.A. (Sector Norte del Río Orinoco)*. M.A.R.N.R. División del Ambiente. Sección de Vegetación. Caracas.
- Colonnello, G. 1995. La vegetación acuática del delta del río Orinoco (Venezuela). Composición florística y aspectos ecológicos (I). *Memoria Sociedad Ciencias Naturales La Salle*. 144: 3-34.
- Colonnello, G. 1996. Aquatic vegetation of the Orinoco River Delta (Venezuela). An Overview. (pp: 109-113). En: Caffrey, J. M., Barret, P. R. F., Murphy, K. J., y Wade, P. M. (Eds.). *Management and ecology of freshwater plants*. Kluwer Academic Press. Dordrecht. Alemania.
- Colonnello, G. 2001a. Physico-chemical comparison of the Mánamo and Macareo rivers in the Orinoco delta after the 1965 Mánamo dam construction. *Interciencia*. 26(4): 136-143.
- Colonnello, G. 2001b. *The environmental impact of flow regulation in a tropical delta: The case of the Mánamo distributary of the Orinoco River (Venezuela)*, "Ph.D. Thesis, Loughborough University. Loughborough, UK.
- Colonnello, G. 2003. Posibles efectos del cambio climático global sobre un humedal costero tropical: El caso del delta del Río Orinoco. Cuarto Simposio Internacional "Humedales 2003". 6-9 Octubre. Ciénaga de Zapata, Matanzas, Cuba.

- Colonnello, G. 2014. Bosques de albardón del delta del Orinoco. (pp: 117-120). En: Lasso, C. A., Rial, A., Colonnello, G., Machado-Allison, A. y Trujillo F. (Eds.). *XI. Humedales de la Orinoquia (Colombia-Venezuela)*. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia.
- Colonnello, G. y Medina, E. 1998. Vegetation changes induced by Dam construction in a tropical estuary: The case of the Mánamo River, Orinoco delta (Venezuela). *Plant Ecology* 139: 145-154.
- Colonnello, G. y Egáñez, H. 2005. Comunidades de plantas y diversidad de especies en dos distributarios en el Delta del Río Orinoco, Venezuela. (pp: 123-136). En: Fernández, R. L. y Moura, D. (Eds.) *Humedales de Iberoamérica, Experiencias de estudio y gestión*. CYTED XVII.C. La Habana, Cuba.
- Colonnello, G. y Pérez, L. E. 2014. Ríos regulados. (pp: 279-284). En: Lasso, C. A., Rial A., Colonnello G., Machado-Allison, A. y Trujillo F. (Eds.). *XI. Humedales de la Orinoquia (Colombia-Venezuela)*. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombiana. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia.
- Danielo, A. 1976. Vegetation et sols dans delta de l'Orénoque. *Annals de Géographie*. 471: 555-578.
- E&E. (Ecology and Environment). 2004. Evaluación Ecológica Rápida de los vertebrados terrestres. En: PROYECTO VEN/99/G31. *Conservación y uso sustentable de la diversidad biológica en la Reserva de Biosfera y los Humedales del Delta del Orinoco*. Caracas. Venezuela.
- Eisma, D., Augustinus, P. y Alexander, C. 1991. Recent and subrecent changes in the dispersal of Amazon mud. *Netherlands Journal of Sea Research*. 28 (3): 181-192.
- González, V. 2013. Los matorrales de pantano de *Chrysobalanus icaco* del delta del Orinoco. (pp: 79-96.). En: Medina, E., Huber O., Nasser, J. M. y Navarro P. (Eds.). *Recorriendo el paisaje vegetal de Venezuela. Un homenaje a Volkmar Vareshi*. Ediciones IVIC. Caracas. Venezuela.
- González-Boscán, V. 2011. Los bosques del Delta del Orinoco. (pp: 197-240.). En: Aymard, G. A. (Eds.). *Bosques de Venezuela. BioLlania* (Edición especial) 10.
- González de Juana C., Iturrealde de Arocena, J., Picard X. 1980. *Geología de Venezuela y sus Cuencas Petrolíferas*. Ediciones Foninves. Caracas. Venezuela.
- Herrera-Trujillo, O. 2013. *Estatus de los delfines de río Sotalia sp. e Inia geoffrensis en la cuenca del Orinoco*. MSc thesis. Universidad Internacional Menéndez Pelayo. Quito. Ecuador.
- IPCC. 2013. “Summary for policymakers,” in Climate Change 2013 (pp: 3-29). En: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, J. K., Boschung, J., et al. (Eds.). *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (Cambridge, UK; New York, NY, USA: Cambridge University Press).
- Lara de González, S., Suárez C., Marcucci, E. 1997. *Atlas Morfodinámico costero de Venezuela*. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Instituto Pedagógico de Caracas. Caracas. Venezuela.
- Lasso, C., Lasso-Alcalá, O., Pombo, C., Smith, M. 2004a. Composición, abundancia y biomasa de la ictiofauna bética del Golfo de Paria y delta del Orinoco. (pp: 85-102.). En: Lasso, C. A., Alonso, L. E., Flores, A. L., y Love, G. (Eds.). *Evaluación rápida de la biodiversidad y aspectos sociales de los ecosistemas acuáticos del delta del Orinoco y Golfo de Paria, Venezuela*. Boletín RAP de Evaluación Biológica 37. Conservación Internacional, Washington D.C. USA.
- Lasso, C. A., Lasso-Alcalá, O. M., Pombo, C., y Smith, M. 2004b. Ictiofauna de las aguas estuarinas del delta del río Orinoco (Caños Pedernales, Mánamo, Manamito) y golfo de Paria (río Guanipa): Diversidad, distribución, amenazas y criterios para su conservación. (pp: 70-84.). En: Lasso, C. A., Alonso, L. E., Flores, A. L. y Love, G. (Eds.). *Evaluación rápida de la biodiversidad y aspectos sociales de los ecosistemas acuáticos del Delta del río Orinoco y golfo de Paria, Venezuela*. Boletín RAP de Evaluación Biológica 37. Conservación Internacional. Washington. D.C. USA.
- Lasso, C. A., y Sánchez-Duarte, P. 2011. *Los Peces del Delta del Orinoco. Diversidad, bioecología, usos y conservación*. Fundación La Salle de Ciencias Naturales y Chevrón C.A. Venezuela. Caracas.
- Lentino, M. 2004. Ornitofauna de Capure y Pedernales, delta del Orinoco, Venezuela. (pp: 125-136.). En: Lasso, C. A., Alonso, L. E., Flores, A. L. y G. Flores, G. (Eds.). *Evaluación rápida de la biodiversidad y aspectos sociales de los ecosistemas acuáticos del delta del río Orinoco y golfo de Paria, Venezuela*. RAP Bulletin of Biological Assessment 37. Conservación Internacional. Washington. D.C. USA.
- Lewis, W. M., Hamiton, S. K., Jones, S. L., Runnels, D. D. J. F. 1987. Mayor element chemistry, weathering and element yields for the Caura River drainage, Venezuela, *Biogeochemistry*. 4: 159-181.
- Linares, O., y Rivas, B. 2004. Mamíferos del Sistema Del-taico (delta del Orinoco-Golfo de Paria), Venezuela. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*. 159-160: 27-104.
- Llamozas, S., Duno de Stefano, R., Meier, W., Riina, R., Stauffer, F., Aymard, G., Huber, O., y Ortiz, R. 2003. *Libro Rojo de la Flora Venezolana*. Pro vita, Fundación Polar y Fundación Instituto Botánico de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Marín-Espinosa, G., Guevara-Vallera, S., Prieto-Arcas, A., Muñoz-Gil, J., y Carvajal-Moreno, Y. 2011. Comercialización ilegal de aves silvestres: un caso en Venezuela. *Ilegal Trading Wild Birds: A case in Venezuela. The Biologist*. 9(1): 38-52.
- Martínez, G., Serpa, J., Pinto, F., Parra, E., Fermín, I., De la Cruz, R., Rodríguez, G., Brito, F., González, M., Hernández, D., Márquez, A., y Benítez, A. 2013a. Caracterización geoquímica de los sedimentos superficiales del Caño Mánamo, Delta del río Orinoco, Venezuela. *Boletín Instituto Oceanográfico Venezuela* 52 (1): 29-41.
- Martínez, G., Fermín, I., Brito, F., Márquez, A., De la Cruz, R., Rodríguez, G., Hernández, D., Parra, E., González, M., Márquez, A., y Pinto, F. 2013b. Calidad de las aguas del Caño Mánamo, Delta del río Orinoco, Vene-

- zuela. *Boletín Instituto Oceanográfico Venezuela* 52 (1): 17-27.
- Méndez, J. 2005. El Delta del Orinoco. (pp: 12-24). En: Gómez, M.G., Capaldo, M., Yanes, C., y Martín, A. (Eds.). *Frente atlántico venezolano. Investigaciones geoambientales. Ciencias de la Tierra. Tomo II. Petróleos de Venezuela*, S. A. (PDVSA) - Fondo Editorial Fundambiente. Caracas, Venezuela.
- Méndez, C., Moreno, M. C., Montoya, J. V., Felicien, A., Nikanova, N. y Buendía, C. 2017. Escenarios de cambio climático y la conservación de los ríos en Venezuela (pp: 173-188). En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.). *Ríos en riesgo de Venezuela. Vol. I. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela*. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Monente, J. A. 1991. Análisis de la información sobre la hidroquímica del río Orinoco. *Memoria Sociedad Ciencias Naturales La Salle*. 51(135-136): 249-261.
- Monente, J. A. y Colonnello, G. 1997. Hidroquímica del Delta del Río Orinoco. *Memoria Sociedad Ciencias Naturales La Salle*. 57 (148): 109-131.
- Monente, J. A. y Colonnello, G. 2004. Consecuencias ambientales de la intervención del delta del río Orinoco. (pp: 114-124). En: Lasso, C. A., Alonso, L. E., Flores, A. L. y Flores, G. (Eds.). *Evaluación rápida de la biodiversidad y aspectos sociales de los ecosistemas acuáticos del delta del río Orinoco y golfo de Paria, Venezuela*. RAP Bulletin of Biological Assessment 37. Conservación Internacional. Washington, USA.
- Mora, A. 2004. Lagunas de inundación impactadas por la industria del aluminio (pp: 272-275). En: Lasso, C. A., Rial A., Colonnello G., Machado-Allison, A. y Trujillo F. (Eds.). *XI. Humedales de la Orinoquia (Colombia-Venezuela)*. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia.
- Mora, A., Sánchez, L., Macquhae, C., Romero, F., Salazar, V., Calzadilla, M. 2008. Geoquímica de los ríos morichales de los llanos orientales venezolanos. *Interciencia* 33(10): 717-724.
- Mora, A., Laraque, A. y López, J. L. 2017. El bajo río Orinoco: aspectos hidrosedimentológicos, geoquímicos e influencia. antrópica. Capítulo 5. (pp: 109-126). En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.). *Ríos en riesgo de Venezuela. Vol. I. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela*. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Novoa, D. 2000. *La pesca en el Golfo de Paria y Delta del Orinoco costero*. CONOCO. Editorial Arte. Caracas. Venezuela,
- Olivares, E. y Colonnello, G. (2000). Salinity gradient in the Mánamo river, a damned distributary of the Orinoco Delta, and its influence on the presence of Eichhornia crassipes and Paspalum repens. *Interciencia* 25 (5): 242-248.
- Paolini, J., Herrera, R., Nemeth, A. 1983. Hidrochemistry of the Orinoco and Caroní Rivers. *Mitt Geol. Paläont. Inst. Univ. Hamburg. SCOPE/ UNEP Sonderband* 55: 223-236.
- Portocarrero-Aya, M., Ferrer, A., Lasso, C. A., Ruíz-García, M., Bolaños-Jiménez, J., y Caballero, S. 2010. Status, distribution and conservation of the river dolphins *Inia geoffrensis* and *Sotalia sp.* in *Venezuela*. (pp: 13-25.). En: Trujillo, F., Crespo, E., van Damme, P., y Usma, J. S. (Eds.). *The Action Plan for South American river dolphins 2010-2020*. WWF, Fundación Omacha, WDS, WDSCS, Solamac. Bogotá, Colombia.
- Rivas, B., Ferrer, A. y Colonnello, G. 2012. Distribución, uso de hábitat y status poblacional del manatí (*Trichechus manatus*) en el tramo central del bajo Orinoco. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, 173-174: 155-172.
- Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A., y Rojas-Suárez, F. (Eds.) 2015. *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar, Caracas, Venezuela.
- Sánchez-Hernández, J., y Bisbal, F. 2015. Perro de agua, *Pteronura brasiliensis*. (pp: 102) En: Rodríguez, J. P., García-Rawlins A., y Rojas-Suárez, F. (Eds.). *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar, Caracas, Venezuela.
- Trujillo F., Crespo, E., Van Damme, P., y Usma J. S. (Eds.). 2011. *Plan de Acción para la conservación los Delfines de Río en Sudamérica. Resumen ejecutivo y avances 2010-2020*. WF, Fundación Omacha, WDS, WDSCS, Solamac. Bogotá, Colombia.
- Van Andel, T.H. 1967. The Orinoco Delta. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37: 297-310.
- Vegas-Vilarrubia, T., Hernández, E., Rull, V., y Rull Vegas E. 2015. The Orinoco megadelta as a conservation target in the face of the ongoing and future sea level rise. *Science of the Total Environment* 515-516:129-142.
- Warne, A. G., Meade, R. H., White, W. A., Guevara, E. H., Gibeaut, J., Smyth, R. C., Aslan, A., y Tremblay, T. 2002. Regional controls on geomorphology, hydrology, and ecosystem integrity in the Orinoco Delta, Venezuela. *Geomorphology*. 44(3-4):273-307.
- Wells, J. T., Colleman, J. M. 1981. Periodic mudflat progradation, northeastern coast of South America: a hypothesis. *Journal of Sedimentary Petrology*. Vol 51 (4): 1069 - 1075
- White, W. A., Warne, A. W., Guevara, E. H., Aslan, A., Tremblay, T. A., y Raney, J. A. 2002. Geoenvironments of the northwest Orinoco Delta, Venezuela. *Interciencia*, 27(10): 521-528.
- Wiscovitch, R. 1993. Calidad de agua. (pp: 105-127) En: Monente, J. A., y Vásquez, E. (Eds.). *Limnología y aportes a la etnoecología del Delta del Orinoco*. Fundacite Guayana. Ciudad Guayana. Venezuela.



La quebrada El Altar nace en lomeríos boscosos y casi de inmediato se pierde -literalmente- en las malogradas aguas del río Turbio. Otros ríos mayores, como Buría y Tucuragua, tienen el mismo destino. La paradoja de los ríos se confirma aguas arriba, donde se extienden las ciudades sedientas (fotografía de D. Rodríguez-Olarte).



Sección II

Valor de patrimonio y eventos transversales

Cabeceras del río Sarare (Sierra de Portuguesa) en la cuenca del río Orinoco

HOYAS HIDROGRÁFICAS Y RÍOS PRINCIPALES.

...El máximo de depresión de la hoya está en Venezuela y lo recorre su principal río, el Orinoco. Este es el canal natural para comunicarse de un extremo a otro del país, y sus grandes tributarios facilitan a largas distancias otros canales no menos interesantes, mientras que el brazo del Casiquiare, arrojándose hacia Río Negro, abre aquella vía famosa que conduce al Amazonas y proporciona una dilatada navegación hasta el pie de los Andes de Pasto, de Quito, del Perú y de Bolivia.

Por todas partes desciende de los cerros y cordilleras muchedumbre de ríos que riegan los valles, refrescan los llanos, humedecen las selvas, y ramificándose de diversos modos, fertilizan un suelo favorecido por la naturaleza. Nacen y corren 1047 ríos en el extenso territorio de Venezuela, sin contar con doce muy caudalosos que bajan de la Nueva Granada y caen al Orinoco. Este recibe 436 : desembocan directamente al mar 230 : caen al golfo y lago de Maracaibo 120 : alimentan el lago de Valencia 22 : desaguan al golfo de Paria 90 , al de Cariaco 34 : lleva el río Cuyuni al Esequibo 91 , y conduce el Río Negro al Amazonas 36. Por lo expuesto se percibe que la geografía física debe dividir el terreno en ocho hoyas hidrográficas con los mismos nombres de los recipientes respectivos.

Agustín Codazzi. Resumen de la geografía de Venezuela, 1841
(vocablos actualizados, excepto los nombres geográficos)

Ríos subterráneos y acuíferos kársticos de Venezuela: Inventario, situación y conservación

Carlos GALÁN^{1, 2, 3} y Francisco F. HERRERA^{1, 2}

1. Sociedad Venezolana de Espeleología. Apartado 47.334, Caracas 1041-A, Venezuela.
2. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Apartado 21827, Caracas 1020-A, Venezuela.
3. Sociedad de Ciencias Aranzadi. Alto de Zorroaga. E-20014 San Sebastián - España.
cegalham@yahoo.es, ffherrera@gmail.com

Se presenta una visión actualizada de las aguas subterráneas contenidas en acuíferos (formaciones geológicas permeables) en zonas kársticas de Venezuela. Muchas de ellas ocupan posiciones de cabecera de cuenca y son altamente vulnerables a la contaminación. Poseen ecosistemas con especies cavernícolas singulares y únicas en el mundo, incluyendo formas troglobias pertenecientes a linajes de antiguo origen, de gran interés zoológico, paleogeográfico y evolutivo. La salud de estos acuíferos es a su vez importante por su creciente aporte al suministro de agua para el agro y las poblaciones de su entorno. Se describen de manera sistemática los distintos tipos de karst y su distribución en el territorio, señalando los sistemas de cavernas que albergan los ríos subterráneos y acuíferos kársticos más caudalosos. A su vez se presenta una breve sinopsis de ecología subterránea, incluyendo datos y referencias sobre las especies cavernícolas más relevantes. El medio físico posee también rasgos geológicos e hidrológicos sobresalientes porque se desarrolla sobre extensos volúmenes de roca en el subsuelo. En estos sistemas se forman galerías y vacíos por disolución, pero también se deposita una gran diversidad de minerales secundarios en forma de espeleotemas, de vistosos diseños y variadas composiciones mineralógicas, algunos de los cuales resultaron al momento de su descripción ser desconocidos en otra región del planeta. Las aguas subterráneas constituyen, además, recursos hídricos de gran importancia para el agro, la industria y el consumo humano, particularmente en zonas áridas, de marcada estacionalidad o donde los ríos de superficie están contaminados. Por ello trataremos aspectos relacionados con el estado actual, la calidad de las aguas y la conservación de los recursos hídricos subterráneos.

Palabras Clave: Biología subterránea, cuevas, hidrogeología, karst, ríos subterráneos.

INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas representan una fracción significativa de las aguas dulces continentales, cercana al 30%. Con excepción de los importantes volúmenes retenidos como hielo en las zonas polares y glaciares de montaña (ca. 33,4 millones de km³), se puede decir que en el promedio global el volumen almacenado y circulante de aguas subterráneas es 85 veces mayor que el correspondiente a los ríos superficiales (Kotwicki 2009). El agua subterránea es un recurso importante y de este se abastece actualmente una tercera parte de la población mundial. Las masas más extensas de los acuíferos subterráneos pueden alcanzar millones de km²; como por ejemplo el acuífero Guaraní (1,7 millones de km²) o el recientemente descubierto río Hamza o Acuífero Amazonas (4 millones de km²), cuyas reservas respectivas oscilan entre 45 mil y más de 86 mil km³, con espesores que pueden extenderse a 2.000 m de profundidad en el subsuelo (Pimentel y Hanza 2013).

Un acuífero es una formación geológica permeable que permite la circulación y almacenamiento del agua subterránea por sus poros y grietas. Su estructura, características y funcionamiento hidrogeológico dependen de la litología de los sedimentos y sustratos de roca involucrados. Habitualmente se distingue en hidrogeología entre TPP (terrenos permeables en pequeño, a través de intersticios y poros del sustrato rocoso o sedimentos sin consolidar, que contienen el agua como una esponja) y TPG (Terrenos permeables en grande, que se presentan en rocas solubles, donde las aguas han disuelto la roca y son almacenadas y circulan a través de fisuras y conductos mayores, formando redes de galerías, cavernas y ríos subterráneos). En Venezuela las rocas solubles susceptibles de haber experimentado procesos de karstificación (con formación de cavernas, acuíferos y ríos subterráneos) comprenden básicamente los afloramientos de caliza en la región norte del país y los de cuarcita (y rocas silíceas relacionadas) que forman los tepuys de la Guayana venezolana (Urbani 1986, Galán 1991a). La parte central de Venezuela (región de Los Llanos) y otras llanuras y valles aluviales poseen acuíferos por porosidad (TPP) donde la circulación de las aguas es lenta. En la mayor parte de los Andes y la Cordillera de la Costa predominan rocas metamórficas y los acuíferos de tipo TPP se desarrollan localmente a través de intersticios, fisuras y poros en su parte más superficial, generando pequeños manantiales locales (De Freitas y Coronel 2012).

En este trabajo nos referimos a TPG o acuíferos kársticos, formados sobre amplios volúmenes de rocas compactas y solubles (fundamentalmente cali-

zas y cuarcitas), en la que la propia acción de las aguas ha disuelto la roca formando redes tridimensionales de vacíos y conductos a todas las escalas posibles según el contexto. Se trata de cuencas hidrogeológicas, donde la red de drenaje subterráneo se organiza de un modo heterogéneo pero jerarquizado. Las aguas de infiltración, procedentes básicamente de las precipitaciones sobre la superficie de cuenca, organizan en sentido horizontal y vertical un auténtico sistema de drenaje subterráneo, que concentra progresivamente la circulación para salir a través de una (o unas pocas) surgencias en la periferia del macizo, generalmente en el punto más bajo del terreno permeable en contacto con los terrenos impermeables basales que limitan el acuífero en profundidad.

En el karst, según sea la estructura y litología de los materiales, normalmente hay una zona vadosa (o zona de aireación), por encima del nivel piezométrico, y una zona freática (zona saturada o inundada) por debajo del mismo. Los sistemas anexos otorgan al karst una gran capacidad de almacenamiento aunque la circulación de las aguas en ellos sea lenta. Inversamente, en los drenajes la circulación es rápida mientras que la capacidad de almacenamiento es pequeña. Según el estado de carga del acuífero kárstico, el nivel piezométrico fluctúa. En aguas altas (cuando el ingreso de las precipitaciones como agua de infiltración supera a las salidas en las surgencias) el nivel asciende e inunda redes de galerías en zona vadosa; el estado de carga moviliza entonces con facilidad las reservas almacenadas en los sistemas anexos. En aguas bajas (sequía hidrológica), los caudales disminuyen en la zona vadosa y las surgencias alcanzan sus niveles más bajos, aun cuando sigan existiendo grandes recursos almacenados en la zona saturada. Se podría decir que la zona saturada en su conjunto se comporta como una zona de represa o embalse de importantes volúmenes de agua, susceptible de ser movilizada según las condiciones de carga hidráulica a lo largo del ciclo anual (o de bombeo, en caso de explotación). Existe por tanto una gran diversidad de tipos de karst (según su estructura y funcionamiento) y una gran diversidad de situaciones en el comportamiento del drenaje subterráneo.

Cada karst en concreto tiene así características que le son propias. Aquí sólo queremos destacar que el propio concepto de “río subterráneo” es sólo un símil, con respecto a los “ríos” de superficie. Lo que habitualmente llamamos ríos subterráneos son sólo una parte del sistema de drenaje, correspondiente a los ríos que vemos en grandes cavernas o galerías, que en realidad son drenes en zona vadosa, general-

mente en su parte basal, próxima al contacto con la zona saturada. Pero puede haber importantes ríos subterráneos totalmente incluidos en la zona inundada, como lo demuestran las exploraciones por buceo, y que pueden extenderse a gran desnivel por debajo de la zona de surgencia.

Igualmente pueden existir grandes volúmenes inundados en sistemas anexos, que desaguan hacia los drenes en condiciones de carga adecuadas, constituyendo ríos o afluentes menos visibles. Obviamente, del conjunto del sistema de drenaje subterráneo, sólo es accesible a la exploración directa por el ser humano, una pequeña parte, correspondiente a cavernas en zona vadosa, o mediante buceo en zona inundada. El uso de técnicas de estudio indirectas permite completar el conocimiento hidrogeológico del conjunto del karst, pudiendo utilizarse balances hídricos del sistema, trazadores (históricos o artificiales), aproximaciones de Darcy, etc.

Los acuíferos tienen un rol fundamental en el aprovisionamiento de agua para las comunidades aledañas, por ello, su estudio y preservación reviste especial atención. A pesar de su importancia, comienzan a establecerse alertas sobre los niveles de consumo y contaminación de aguas subterráneas principalmente por la actividad agrícola, que demanda hasta un 70% de este recurso a nivel global, aspecto que debe tomarse en cuenta en el manejo de los acuíferos del país. Por su parte, la mayoría de los karsts venezolanos, de forma aparente, presentan un buen estado de conservación, aunque sobre muchos de ellos se ciernen amenazas importantes, al igual que representan fuentes vitales de agua en lo local y para algunas grandes ciudades del país. Estos aspectos serán descritos a lo largo del texto.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos presentados reúnen información obtenida a lo largo de 62 años de trabajos y exploraciones subterráneas en el territorio nacional por parte de integrantes de la Sociedad Venezolana de Espeleología (SVE). Aunque se han realizado algunos estudios hidrogeológicos puntuales (karst de Mata de Mango, sistema del Samán, sierra de San Luis, sistema Aonda, sistema Roraima Sur, sistema Mara, karst de Mesa Turik, etc.) puede decirse que no existen estudios hidrológicos detallados de los distintos karsts, aunque sí se aportan interesantes caracterizaciones sobre la organización del drenaje subterráneo en cavernas individuales o en sistemas de cavernas interrelacionadas.

Igualmente contamos con la localización, descripción y topografía completas de más de 700 cavernas. A diferencia de los ríos de superficie, lo conocido

sobre el karst y las cavernas de Venezuela es sólo una fracción de lo que aún queda por conocer, ya que cada año se producen nuevas exploraciones y descubrimientos. Es precisamente el carácter subterráneo, oculto, de las cavernas y la necesidad de su exploración lo que determina este conocimiento progresivo. Los ríos subterráneos aún no pueden conocerse mediante el empleo de sensores remotos. El tipo de terreno geológico y la localización de surgencias pueden sugerir la importancia de un karst, pero sólo la ubicación de bocas de cuevas y la exploración y topografía de sus galerías subterráneas revelará sus principales características. Las pruebas de trazado, medidas de caudal, química de las aguas y comportamiento de las surgencias agregan en adición interesante información sobre las direcciones de drenaje, reservas y funcionalidad del conjunto.

En el transcurso de exploraciones y trabajos espeleológicos se ha obtenido a su vez una información importante sobre los ecosistemas subterráneos y las especies cavernícolas que en ellos habitan, así como sobre otros rasgos geológicos, climáticos y de mineralogía de los espeleotemas que se encuentran en ellos. En muchos de estas investigaciones han participado especialistas (nacionales y extranjeros) que estudiaron las muestras y materiales recolectados, aun cuando no hayan participado en los trabajos de campo. Todo ello ha permitido reunir copiosa información, cuyo procesamiento y análisis ha sido heterogéneo en términos de detalle y rigurosidad. Los textos presentados suponen así un trabajo de recopilación, revisión y síntesis de datos publicados e inéditos, que incorporan nuestro conocimiento directo de simas y cuevas, así como datos relacionados de biología y karstología.

RESULTADOS

En conjunto, las regiones de Venezuela que presentan acuíferos kársticos comprenden cerca del 20% del territorio, pero están subdivididos en numerosas unidades hidrogeológicas independientes. Prácticamente todos los afloramientos de calizas compactas están karstificados y poseen sistemas de cuevas, pero existen grandes extensiones que aún no han sido exploradas. En muchos casos se trata de formaciones compuestas, donde las calizas alternan con calizas margosas, lutitas u otros materiales de baja permeabilidad, dando lugar a karsts complejos. Generalmente en los karsts en caliza las entradas de agua corresponden a la captura casi total de las precipitaciones, que se infiltran en el subsuelo, faltando una red hidrográfica de superficie, pero existiendo una red de drenaje subterráneo que desagua de modo concentrado a través de unas pocas surgencias (Figura 1).

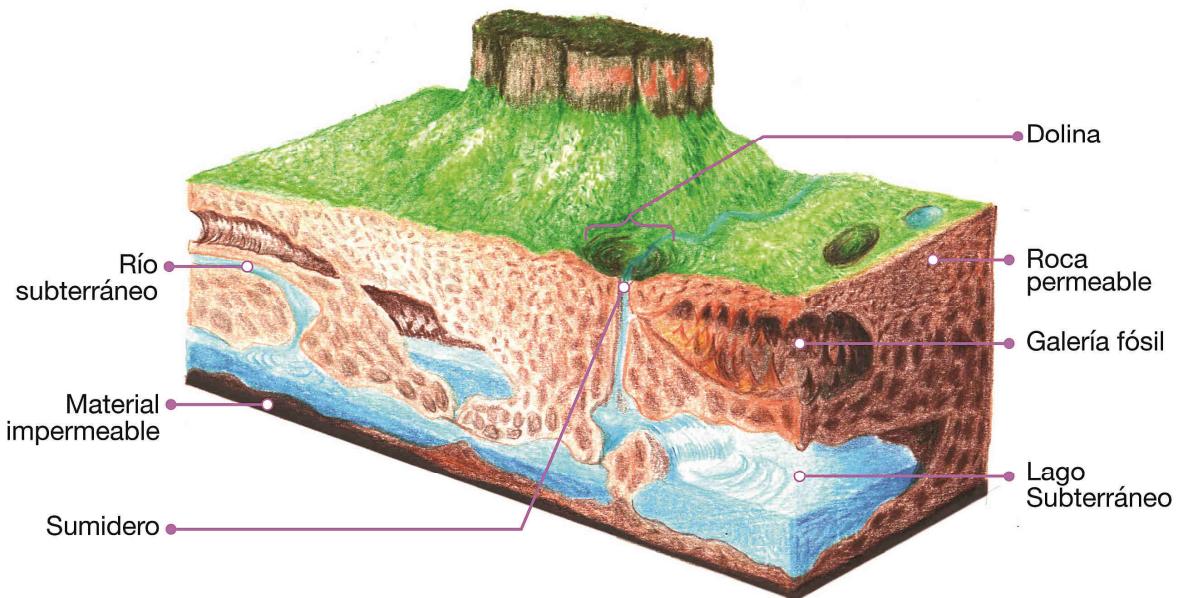


Figura 1. Representación esquemática de un karst donde se destacan los sistemas de infiltración de agua superficial a través de dolinas o grietas y la conformación de conductos en el macizo. Las características del drenaje determinan la existencia de ríos o lagos subterráneos. Las cuevas son aquellos conductos con acceso desde la superficie del macizo. Dibujo de Juan Carlos Granadillo, departamento de dibujo científico, IVIC.

Pero en adición tenemos casos en que el karst captura, no sólo las precipitaciones locales, sino el drenaje de superficie de terrenos impermeables situados en posiciones topográficas más altas. Son frecuentes los casos de perforaciones hidrogeológicas, donde un río de superficie se infiltra bajo tierra al alcanzar la caliza, y atraviesa el afloramiento, incrementándose el caudal y mezclándose con las aguas subterráneas autóctonas procedentes de la infiltración dispersa sobre la caliza. El karst se comporta en este caso como una cuenca hidrogeológica, conteniendo aguas de distinta procedencia.

En las cuarcitas del Grupo Roraima del sur del país (Figura 2), existen casos notables de karstificación y formación de cavernas, pero éstos se localizan en zonas de borde o donde concurren una serie de condiciones litológicas y estructurales favorables para la formación del karst. En los tepuys existen grandes extensiones sin karstificar, que poseen una hidrografía de superficie, a veces encajada entre sistemas de torres, grietas y cañones, pero sin formar cavidades subterráneas. Aunque sobre este tipo de rocas puede actuar la disolución, ésta puede limitarse a la superficie, faltando en profundidad y sin constituir por tanto un karst. Por las dificultades de acceso, las partes exploradas en las cuarcitas de las cumbres de los tepuys, quizá representan una fracción ínfima de la superficie total de los aflo-

ramientos, quedando un considerable potencial para descubrimientos de sistemas de cavernas y ríos subterráneos.

Los karsts más significativos en el norte del país se distribuyen por los estados: (1) Zulia: cuencas de los ríos Guasare y Socuy, Cerro Pintado, Mesa Turik, regiones de los ríos de Oro y Aricuazá, y Machiques, todas ellas incluidas en la Sierra de Perijá. (2) Falcón: Sierra de San Luis, Sierra de Churuguara, cerro Misión, karst costero de Mallorquines. (3) Miranda: pequeños afloramientos de calizas y mármoles en la región de Birongo, Capaya, Salmerón y alrededores de Caracas. (4) Monagas: importantes karsts en la región de Caripe-Caripito (El Guácharo, Mata de Mango, El Culta, El Guamo) y Mundo Nuevo. (5) Afloramientos menores dispersos en Los Andes (estados Táchira, Mérida, Trujillo y Lara), Anzoátegui (Guanta, Turimiquire, Bergantín) y Sucre (cabeceras del río Neverí, Cumanacoa), más algunos karsts costeros e insulares. (6) En el sur del país los karsts en cuarcita se presentan en numerosos tepuys, principalmente en la cuenca del Caroní (macizos de Auyantepuy, Chimantá, Guaiquinima, cadena Roraima - Kukenán - Yuruaní - Tramen, y Aguapira en el alto Paragua), meseta de Sarisariñama (en el alto Caura) y cerro Autana. Muchas de estas regiones albergan acuíferos y grandes cavernas con ríos subterráneos caudalosos. Pasaremos a continuación revis-

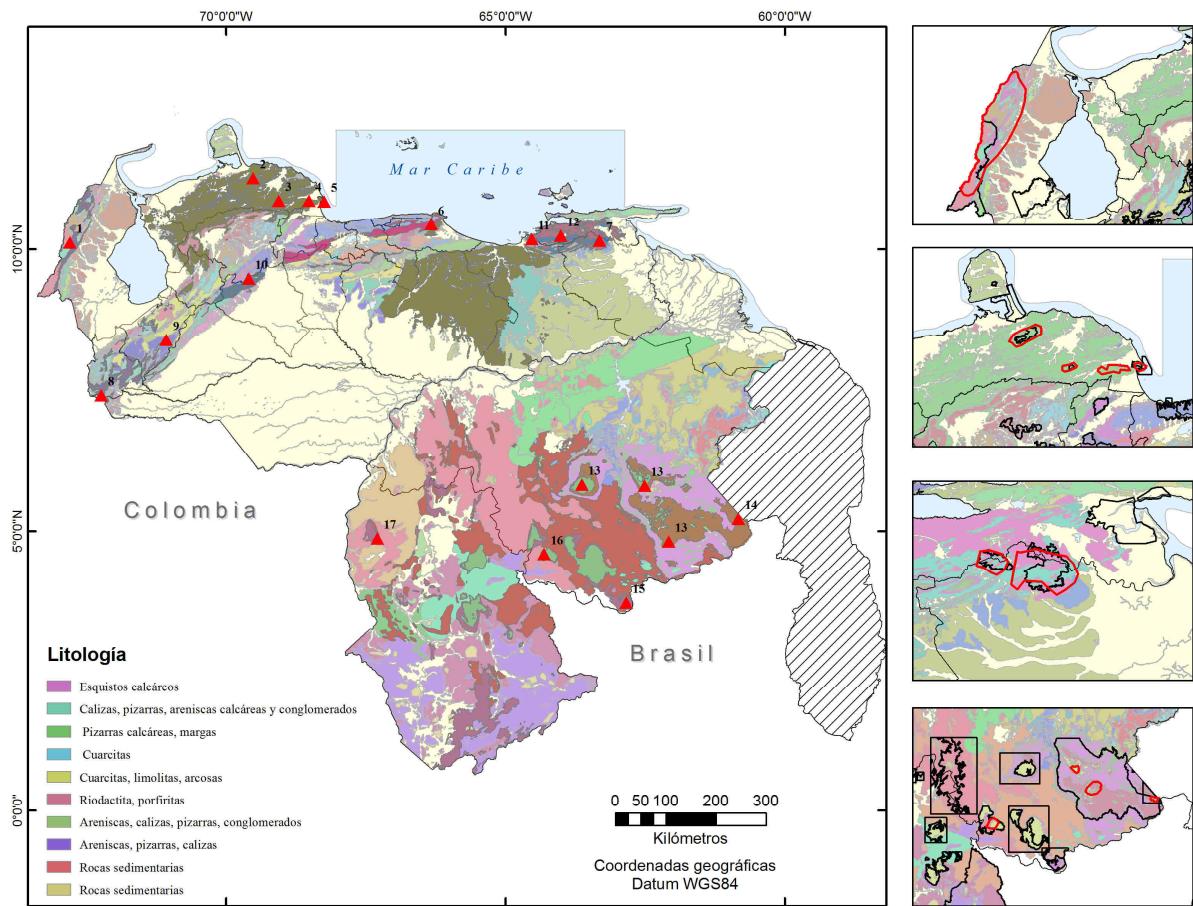


Figura 2. Ubicación de los principales acuíferos kársticos de Venezuela y la litología asociada. 1. Sierra de Perijá (Zulia); 2. Sierra de San Luis (Falcón); 3. Sierra de Churuguara (Falcón); 4. Cerro Misión (Falcón); 5. Mallorquines (Falcón); 6. Afloramientos de caliza cercanos a Caracas, Birongo, Capaya (Miranda); 7. Sector Caripe-Caripito (Monagas); 8. Afloramientos de areniscas (Táchira); 9. Afloramientos de caliza (Mérida); 10. Afloramientos de caliza (Trujillo y Lara); 11. Guanta y Bergantín (Anzoátegui); 12. Turimiquire y Cumanacoa (Sucre); 13. Abarca los macizos de Auyantepuy, Chimantá y Guaiquinima (Bolívar); 14. La cadena Roraima - Kukenán - Yuruaní - Tramen (Bolívar); 15. Serranía de Aguapira (Bolívar); 16. Meseta de Sarisariñama (Bolívar); 17. Cerro Autana (Amazonas). Mapa elaborado por Grisel Velásquez, Unidad de Información Geográfica del Centro de Ecología, IVIC.

ta a los casos más sobresalientes, cuyo conocimiento ha sido obtenido a través de prospecciones, exploraciones subterráneas y trabajos en diversos campos de la espeleología científica.

ESTADO ZULIA

Los principales karsts se localizan en la Sierra de Perijá, en su mayor parte en afloramientos de caliza del Grupo Cogollo (edad Cretácico temprano, Aptiense-Albiense: formaciones Apón, Lisure y Maraca) y minoritariamente en caliza de la Formación La Luna (de edad Cretácico tardío, Turoniense) (Rodríguez y Galán 2008). La mitad norte de la Sierra posee grandes extensiones de caliza, que han

sido prospectadas de modo puntual y por lo tanto poseen un gran potencial para futuros hallazgos de ríos subterráneos caudalosos (Figura 3).

En la parte norte, región de caño Grande, se desarrolla un importante acuífero en calizas de la Formación La Luna. El colector principal ha sido hallado en el sistema de las cuevas Mara. El agua de los cursos superiores de los caños Pan Grande y río Frío se infiltra al alcanzar las calizas, a lo que se suma la infiltración de las precipitaciones sobre la superficie del afloramiento. El río subterráneo colector recorre 4,4 km de galerías en las cuevas Mara 1 y Mara 2, para luego emergir por una surgencia en la parte más baja del afloramiento. El río en Mara 2

resulta espectacular porque hay que avanzar a nado varios kilómetros por una galería amplia y sin orillas. El caudal mínimo en sequía es de 800 l/s, estimándose un caudal medio anual del orden de 5 m³/s, con picos de crecida que podrían superar los 40 m³/s. Estas cavidades poseen además poblaciones de guácharos (*Steatornis caripensis*) y especies cavernícolas troglobias únicas en el mundo, siendo un sector amenazado por la deforestación y los proyectos de explotación carbonífera (Galán 1995, Galán y Herrera 2006, Hernández-Montilla y Portillo-Quintero 2010). El flanco norte de la cuenca del río Guasare, frente al cerro La Yolanda (entre el río y la fila maestra límitrofe con Colombia), se caracteriza por tener una enorme cantidad de depresiones kársticas y posee muchas otras cavidades.

El accidente geográfico más interesante se presenta en el curso medio del Guasare. El río de superficie desaparece en “El Consumidero”, dejando el cauce seco, y reaparece a 7 km de distancia en “La Resurgencia”, descendiendo un desnivel de 40 m. En el periodo de lluvias circula agua en este tramo también en superficie, pero en sequía sólo subterráneamente. El caudal medio del Guasare subterráneo, dada su extensa cuenca de drenaje, es de varias decenas de m³/s. Un tramo del colector, de 2 km de largo, es apreciable en la cueva Francisco Zea, cercana a la surgencia. Pero sobre ambas orillas del cauce seco existen otras importantes cavidades (cueva de Los Verdes, La Guacamaya, etc.) cuyas galerías quedan completamente inundadas en aguas altas. El acuífero recibe además los aportes laterales de sus extensos flancos calcáreos, constituyendo probablemente el curso subterráneo más caudaloso de Venezuela.

Aguas arriba de esta región, en el Alto Guasare, prosiguen los afloramientos del Grupo Cogollo, con gran extensión y con numerosas dolinas y depresiones kársticas, sobre un dispositivo monoclinal muy favorable para la formación de grandes cavidades. Las fotos aéreas muestran que los ríos que nacen en la fila maestra de Perijá se infiltran enseguida al alcanzar las calizas y circulan en dirección al valle, que actúa como nivel de base local, salvando importantes desniveles y distancias. Probablemente este karst esté compuesto por todo un conjunto de ríos subterráneos en paralelo, cuya conectividad hídrica puede ser compleja. Algunas depresiones parecen albergar también sumideros locales, con probables cuevas aún inexploradas.

En paralelo al río Guasare se encuentra el río Socuy, que en realidad es un afluente del primero al cual se une en su curso bajo. Ambos ríos siguen la directriz estructural longitudinal de la sierra (de

azimut N35°E y declive generalizado hacia el norte) y sus cauces están instalados sobre dos importantes ejes sinclinales dispuestos en paralelo. En ambos casos las calizas del Grupo Cogollo ocupan importantes extensiones. En el caso del Socuy las aguas subterráneas resultan concentradas en un único acuífero, espectacular por la magnitud de sus cavidades: el Sistema del Samán. El sistema está compuesto por todo un conjunto de grandes cavidades, siendo la mayor de ellas la cueva del Samán, la mayor de Venezuela, con 18,2 km de galerías y -176 m de desnivel. De modo parecido al accidente del Guasare, el curso alto del Socuy desaparece en un sumidero y reaparece en una surgencia inferior. El trayecto subterráneo en línea recta es de 12 km y el desnivel, mucho más importante, de -350 m. Además, el propio cauce seco carece de continuidad, ya que se ve interrumpido por una elevación topográfica, que atraviesa la cueva del Samán entre sus bocas sur y norte. Tramos kilométricos del colector de este río subterráneo se hallan en una serie de cavidades: La Carlota, Los Laureles, La Cristalina, El Samán, Cañón Norte 1. El curso subterráneo va incrementando su caudal por aportes de sus flancos calcáreos, desde 0,5 m³/s en el tramo superior a 1,2 m³/s en la surgencia terminal (caudal mínimo en sequía). Sobre los flancos hay también grandes cavidades con ríos subterráneos afluentes al colector, como las cuevas de La Retirada, Sumidero La Retirada, sumidero Los Encantos, sumidero Los Cantos, cueva de Santa Elena, cueva del cañón de Sorotamia y cueva-sumidero Las Piscinas, varias de ellas son kilométricas. La cuenca total del acuífero es de 160 km² y posee una importante zona saturada. Se estima que drena un módulo medio anual de 8 m³/s, con máximos de 100 a 200 m³/s (Galán 1991b).

En las galerías de la cueva del Samán, exploradas en aguas bajas, si bien se encuentran algunos drenes con importantes circulaciones, en la mayoría de los casos muchas simas internas alcanzan el nivel piezométrico de la zona inundada. Dado el dispositivo estructural, el acuífero posee grandes reservas. En época de lluvias, cuando asciende el nivel piezométrico, las aguas circulan también por superficie y atraviesan galerías principales de la cueva del Samán con caudales impresionantes, mayores de 100 m³/s.

La boca norte de la cueva, de 80 m de ancho, prosigue en un espectacular y profundo cañón, con numerosas cavidades a sus orillas (Galán 1991b). Este espectacular sistema, que alberga algunas de las mayores cuevas de Venezuela, resulta notable por la elevada diversidad de su fauna cavernícola, y se encuentra seriamente amenazado tanto por la deforestación como por su proximidad a zonas de explo-

tación carbonífera, que podrían destruir lo que hoy tal vez sea el mayor sistema de cavidades subterráneas conocido en el país (Hernández-Montilla y Portillo-Quintero 2010).

En la parte alta de la cuenca del Guasare, sobre la Fila Maestra, al norte del cerro Tetari (3.660 msnm) se encuentran dos importantes karsts tabulares, las mesetas de cerro Pintado (3.240 msnm) y Turik (2.680 msnm), la primera de ellas sobre la Fila Maestra (divisoria de aguas con Colombia) y la segunda en una estribación al SE de la misma, que separa las cuencas de los ríos Guasare, Palmar y Apón. En cerro Pintado han sido exploradas ocho simas y una cueva, cuyo desarrollo se ve interrumpido por intercalaciones de carácter arenoso de la Formación Lisure. Las aguas percolan toda la serie pero las galerías se ven interrumpidas, habiéndose alcanzado un desnivel máximo de -80 m. Este karst también es notable por sus rasgos glacio-kársticos, especies troglobias y restos fósiles de vertebrados (Herrera et al. 2006, Urbani et al. 2006).

El karst de Mesa Turik alberga un conjunto de megadepresiones interconectadas por sistemas de cuevas gigantescas (conductos de amplios diámetros: hasta 60 m en la cueva de Los Guácharos y en el sector la T de la cueva del Río, que une dos depresiones). El mayor desnivel es alcanzado en la Sima Turik 2, de -173 m. Como en el caso de Cerro Pintado, las aguas subterráneas atraviesan las calizas de la Formación Maraca pero tienen dificultades para atravesar las calizas arenosas y areniscas de la Formación Lisure, existiendo surgencias a varios niveles. En Turik han sido exploradas 14 cavidades que suman 5,8 km de galerías. Los recursos hídricos son importantes, dada las altas precipitaciones, disponiéndose de módulos de infiltración eficaz medios de 100 l/s.km², con una superficie de cuenca de 90 km². El caudal de sequía del río subterráneo que atraviesa el sistema principal de cuevas es de 220 l/s, pero experimenta una rápida respuesta a las precipitaciones: tras un período lluvioso de 24 horas (15 mm de lluvia, en sequía) el caudal ascendió a 1,2 m³/s. Por lo que puede estimarse que durante las crecidas en época de lluvias se alcanza con facilidad los 6 m³/s. Otro aspecto curioso es que las aguas de este karst tienen un color té similar al de las aguas de los tepuys de Guayana, fuerte acidez (pH de hasta 5,5), valores de conductividad entre 10 y 250 uS/cm, y un alto poder agresivo para la caliza debido a las sustancias húmicas en solución, por lo que no es de extrañar los grandes volúmenes disueltos.

Mesa Turik es una zona de alta diversidad en Perijá y dado que permanecía inexplicada, por su difícil acceso, el estudio de las muestras recolectadas

durante la expedición de la SVE permitió describir más de 20 especies, de vertebrados e invertebrados, tanto cavernícolas como epigeos, reportando en adición colonias de guácharos. Así mismo se hallaron en las cuevas yacimientos con restos óseos humanos fósiles con una antigüedad notoria. Esta sección de la sierra es la fuente de agua para las represas de Manuelote (río Socuy), Tulé (río Cachirí) y Tres Ríos, también conocida como El Diluvio (confluencia de los ríos Lajas, Palmar y Caño Pescao) que suministran el 93% del recurso demandado por la ciudad de Maracaibo y el sistema agroindustrial periurbano.

La mitad sur de Perijá ha sido menos explorada y los mapas geológicos muestran afloramientos de caliza mucho más reducidos en extensión. Cinco cavidades han sido topografiadas: la cueva de Toromo, en la cuenca del río Negro; dos cavidades menores en la Serranía de Canobatupe; y otras dos en la Serranía de Motilones (región de Río de Oro - río Aricuaisá: cuevas de Inshká Troá y Orro), donde existen referencias adicionales de más de una docena de cavidades. La cueva de Inshká Troá tiene un pequeño río subterráneo, con más de 2 km de galerías, y la cueva de Toromo (de 1,2 km) alberga otro río del cual fue descrito el isópodo cirolárido *Zulialana coalescens*, perteneciente a un grupo de crustáceos previamente desconocido para América del Sur (Galán 1995). Esta sección del karst se encuentra protegida bajo la figura del Parque Nacional Perijá, decretado en 1978 que abarca 295.288 ha, con el objeto de resguardar la diversidad de recursos naturales y el patrimonio histórico y cultural de la región, quedando los extensos acuíferos del norte de la sierra, conformados por los valles de los ríos Guasare, Socuy y Palmar, fuera del sistema de áreas protegidas.

ESTADO FALCÓN

Los acuíferos kársticos más importantes están en la Sierra de San Luis, Sierra de Churuguara, cerro Misión y en el karst costero de Mallorquines, aunque existen zonas kársticas con cuevas de menores dimensiones en la Península de Paraguaná, meseta de Jácura y otros afloramientos de caliza de menor volumen. Las calizas de los karsts de Falcón pertenecen a la Formación Capadare (Mioceno medio) y a la Formación San Luis (Oligoceno - Mioceno temprano) (Herrera et al. 2006). Sin duda, el karst más importante es el que se desarrolla en la Sierra de San Luis, que constituye una especie de isla topográfica elevada, con selva húmeda y decidua, rodeada de terrenos bajos semiáridos. Contrastó además porque recibe abundantes precipitaciones por efectos del relieve. Casi toda la sierra es calcárea y tiene una forma general de meseta, con dos grandes cubetas o depresiones

en su parte central. El espesor de las calizas de la Formación San Luis supera los 400 m en su borde Sur. El karst se caracteriza por presentar gran número de simas en caliza (más de un centenar) conteniendo las simas de mayor desnivel del país: la sima o haitón del Guarataro (de -305 m) y la sima de Sabana Grande (-288 m), entre otras. Posee también algunas cuevas kilométricas, como las de Hueque, Coycoy de Uria, Zárraga, Coycoy de Acurigua, San Lorenzo, etc. En muchas cavidades hay pequeños ríos subterráneos, pero predominan las cavidades fósiles o hidrológicamente inactivas, excavadas en ciclos de karstificación antiguos, anteriores al actual.

La mayoría de las precipitaciones se infiltran verticalmente hacia la zona saturada, dejando no obstante niveles colgados e inundados a distintas alturas, con sistemas anexos de almacenamiento de considerable desarrollo. El drenaje subterráneo profundo se organiza en la zona inundada y descarga a través de varias surgencias periféricas en la base del macizo. Los caudales principales emergen al sur de la Sierra, en la zona surgente de Hueque, pero hay otras surgencias al este y norte del macizo, que drenan áreas cercanas a las mismas. La delimitación de unidades hidrogeológicas presenta algunas incógnitas y puede haber alguna interconexión en aguas altas entre las mismas. No obstante, las reservas hídricas son importantes. A modo de embalses subterráneos naturales pueden proveer recursos hídricos utilizables para el agro y para el suministro a áreas áridas periféricas, urbanas e industriales. El sistema de la sierra suministra agua a tres embalses del acueducto El Falconiano, ubicados en las tierras bajas que circundan al afloramiento. Estos tres embalses (El Isiro, Las Barrancas y Hueque) tienen una capacidad superior a 400 Hm³ y suministran el agua de la ciudad de Coro, y las poblaciones y complejos industriales de la península de Paraguaná. Los principales contribuyentes de estos embalses son ríos que nacen de las aguas que emergen del karst, captadas en las partes altas, principalmente en la sección más oriental que se corresponde con el máximo de precipitación y captura de agua. Por consiguiente, el interés en la conservación de la sierra es máximo, y para regular las actividades que se realizan y conservar los recursos locales fue decretada parque nacional en 1987, inicialmente bajo el nombre de Juan Crisóstomo Falcón, hoy denominado Sierra de San Luis y abarca 20.000 ha. Cabe destacar que, el karst de San Luis y sus cuevas han experimentado una larga evolución en el tiempo, a lo largo de varios ciclos hidrogeológicos, teniendo hoy un carácter en parte hidrológicamente inactivo y poseyendo un interesante conjunto de especies troglobias de antiguo origen.

A lo largo de la Sierra de Churuguara, existen diversos afloramientos calcáreos, que se extienden hasta alcanzar la costa del mar Caribe en la región de Chichiriviche y Morrococoy. Muchos albergan pequeños acuíferos locales. Sin duda el más importante es el que comprende la cueva de la Taza o de la Quebrada del Toro, declarado Parque Nacional en 1969 para proteger 4.885 ha entorno a la cueva. La cueva atraviesa un afloramiento calcáreo, con un río subterráneo caudaloso y accidentado por cascadas. La galería del río tiene 1,6 km de desarrollo y -120 m de desnivel. En su parte media, un sifón separa la cueva-sumidero de la cueva-surgencia, pero existe una galería aérea que, acosta de escalada, permite superar ese obstáculo sin bucear. La cuenca drenada es de 16 km² y el caudal del río en el periodo de lluvias supera 1 m³/s. Otros karsts de Falcón albergan cavidades interesantes, como la cueva del Miedo y la cueva de Zumbador, con importantes restos de interés paleontológico, o las cuevas anquihalinas del karst costero de Mallorquines, con aguas salobres y mixohalinas, por lo que presentan una interesante fauna acuática stygobionte, con especies sólo conocidas en estas localidades (Galán 1995).

ESTADO MIRANDA

La mayor parte de la Cordillera de la Costa, así como de la región de los Andes venezolanos, presenta rocas metamórficas con poca presencia de caliza. No obstante, en el estado Miranda existen pequeños afloramientos de calizas y mármoles en la región de Birongo, Capaya, Salmerón y en los alrededores de Caracas (Cañón del Guaire, Peñón de Lira, Morros de la Guairita), principalmente en calizas metamórficas de edades Jurásico tardío (Formación Las Brisas) y Cretácico (mármoles calcíticos de la Formación Las Mercedes). Muchas de las cavidades conocidas son fósiles o hidrológicamente inactivas, y albergan acuíferos de reducidas dimensiones.

Sin duda, las cavidades y ríos subterráneos más importantes y extensos se encuentran en la región de Birongo (cuevas Alfredo Jahn y Cajigal) y Capaya (sima Walter Dupouy), circunscritos a afloramientos pequeños de mármoles que son atravesados por drenajes alóctonos procedentes de terrenos impermeables, siendo baja la contribución de la infiltración autóctona de las precipitaciones sobre la caliza. La cueva de la Tapa de Cambural o cueva Alfredo Jahn se desarrolla en la Asociación metasedimentaria Caracas (esquisto Las Mercedes) (Urbani y Rodríguez 2006) y posee algo más de 4 km de galerías que son recorridas por un río subterráneo cuyas aguas proceden de la infiltración de una quebrada superior, con un área de drenaje de 7 km². La cueva Cajigal se

desarrolla en mármol de la Asociación metasedimentaria Caracas (esquisto Las Brisas). Las aguas proceden de la infiltración parcial de la quebrada Palacios (de 9 km² de cuenca) y recorren 1,2 km para emerger por la boca-surgencia y tributar al río Bironango. El caudal en este caso es más importante, ya que no desciende de los 500 l/s en sequía. La sima Walter Dupouy, situada al N de Capaya, drena una pequeña cuenca (de 1,2 km²) en la parte alta del cerro Piedra Azul. Su boca superior es el sumidero activo de la quebrada Santa Cruz, de caudal permanente. El río subterráneo es una sucesión de galerías con cascadas de 1,2 km de desarrollo y desciende un desnivel de -120 m, para emerger en la boca-surgencia inferior y tributar a través de un alta colada a la quebrada Marasmista de Capaya. Las aguas de estas cavidades tienen pH de 7,4 a 8,2, conductividades de 300 a 400 µS/cm, y tenores en carbonato de calcio de 120 a 180 mg/l. Estas características y sus variaciones son debidas a su punto de ingreso al karst tras drenar terrenos esquistosos. Al momento de penetrar al karst las aguas están saturadas con respecto a la calcita, produciéndose pocos cambios posteriores en su química por su rápido tránsito a través de las cuevas.

ESTADO MONAGAS

Posee importantes karsts en la región que se extiende entre Caripe y Caripito, a ambos lados del río Caripe, y afloramientos menores en Cerro Negro, cuenca del río Guarapiche y Mundo Nuevo (Figura 2). Las calizas pertenecen a la Formación El Cantil (Cretácico temprano, Aptiense-Albiense) y Formación Querecual (Cretácico tardío, Turoniense), equivalentes respectivos del Grupo Cogollo y Formación La Luna (de Perijá), en las montañas orientales. En los alrededores de Caripe y Cerro Negro predominan las calizas de El Cantil.

La cavidad más notable y conocida desde antiguo es la famosa cueva del Guácharo, que posee 10,2 km de galerías practicables y alberga un pequeño río subterráneo. El afloramiento se circunscribe al cerro del mismo nombre, que se extiende entre La Guanota y Caripe, y el río subterráneo de la cueva es el colector principal. Al norte de Caripe se presentan otros afloramientos dispersos, con pequeños acuíferos. Al sur de Caripe existen otros más importantes, con reservas hídricas más caudalosas. El río subterráneo de la cueva de Quijano, por ejemplo, tiene casi 700 m de desarrollo de galerías y un caudal medio de 300 l/s. Entre Caripe y Caripito se encuentran importantes acuíferos kársticos, fraccionados en unidades independientes. El karst de Mata de Mango es el más notable de ellos, desarrollado en calizas negras

de la Formación Querecual, donde la fila montañosa de Las Cuevas de Anton Göering (limitada entre los ríos Arcacuar, Tucuyucal y Caripe), alberga ella sola más de 24 grandes cavidades, muchas de ellas simas kilométricas, con importantes ríos subterráneos y desniveles de hasta -260 m, destacando las simas: Los González, Bastimento, Narciso, La Quebrada, Pánfilo, Domingo, Hilario, El Danto, El Cacao, El Chorro, La Peinilla, El Barrial, El Bajo, Las Lapas, Las Báquiras, El Naranjo, Simón, y las cuevas Grande, Clara, Sucia-Mala y la surgencia de La Puerta (Galán 1991c) (Figura 3).

Estas cavidades del karst de Mata de Mango suman más de 14 km de galerías y 2.800 m de desnivel acumulado. Todas las cavidades son hidrológicamente activas y el drenaje subterráneo está organizado en cinco sistemas jerarquizados. Estos sistemas drenan diferencialmente a los ríos Arcacuar al norte y Tucuyucal al sur, siendo ambos afluentes del río Caripe, Los acuíferos poseen importantes reservas y el flujo subterráneo alcanza 1.050 l/s de caudal medio anual (Galán 1991c). Las cuevas resultan notables por albergar amplias galerías, con importantes colonias de guácharos y una notable biomasa y diversidad de fauna, con hasta más de 100 taxones distintos registrados en una cueva individual. Recientes trabajos muestran que se trata de las cavidades con mayor biomasa de fauna cavernícola a nivel mundial (Galán et al. 2009).

Al norte del río Caripe también se encuentra una alternancia de afloramientos de calizas de El Cantil con otras de Querecual, que se extienden al este de las localidades de Teresén y Las Margaritas hasta la proximidad de Caripito. Aquí se localizan las simas del Guamo, La Palencia, El Casupo, Casupal, Quebrada Sucia, El Pegón, Alto de La Palencia, Alto del Guamo, algunas de ellas superando los -100 m de desnivel y con acuíferos locales, sólo parcialmente conocidos. En 1989, se decreta la ampliación del parque nacional El Guácharo para incluir al sector antes descrito con el objeto de proteger los bosques, cuevas y ecosistemas que sustentan a las colonias de esta especie de ave que están presentes en el Monumento Natural Alejandro de Humboldt, además de diversas cuevas de la región, y proteger una extensa región de 62.700 ha. Esta ampliación reviste particular interés, porque se sustentó en el trabajo científico (Bosque 1986, Herrera 2003) que permitió determinar la importancia de la dimensión real de karst y sus implicaciones en la conservación de esta especie y los recursos locales. En la cuenca del río Guarapiche y otras zonas de Monagas se han encontrado otras cavidades y acuíferos menores. Destaca entre ellas la cueva de La Milagrosa, en Mundo

Nuevo (al sur del cerro Turimiquire), con un río subterráneo de 1.286 m y 56 m de desnivel, formado en calizas negras de la Formación Querecual.

OTROS KARSTS EN EL NORTE DE VENEZUELA

Afloramientos kársticos menores se encuentran dispersos en otros estados de la mitad norte del país. En Los Andes (estados Táchira, Mérida, Trujillo, Lara), Morros de San Juan, Loma del Medio, San Sebastián y Macaire (estados Aragua y Guárico), Guanta, Turimiquire, Bergantín (estado Anzoátegui), cabeceras del río Neverí, Cumanacoa (Sucre), más algunos karsts costeros e insulares en estos dos últimos estados (Urbani et al. 2006). Aunque la karsificación y el número de cavidades pueden ser localmente elevados, en general se trata de cavidades menores en afloramientos poco extensos. En esta enumeración se consideran los que albergan los acuíferos y ríos subterráneos de mayor interés, ya que muchas zonas constituyen morros y afloramientos con cavidades básicamente fósiles, con escasa o nula actividad hídrica en la actualidad, o con transmisión de sus reservas a acuíferos en sedimentos contiguos (TPP).

En los Andes destacan algunas cavidades en el Páramo de Tamá (estado Táchira), por presentarse en una litología de areniscas y a considerable altitud (superior a tres mil metros), con presencia de guácharos y una fauna cavernícola, en general, poco conocida. En el estado Mérida destaca por su desarrollo la cueva de La Azulita, en un afloramiento calcáreo, y con un trazado laberíntico kilométrico. Pero sin duda los mayores ríos subterráneos hasta ahora conocidos se encuentran en la región de los Humocaros y en Barbacoas (estado Lara), con cuevas de varios kilómetros, como la cueva de la Segunda Cascada (de 3 km) y la cueva La Peonía (de 2,5 km), ambas con ríos subterráneos.

La zona de morros del centro del país (Figura 2) posee un paisaje de mogotes o pináculos de caliza (tower karst) con innumerables formas de lapiáz y pequeñas cavidades en relieve residual, prácticamente carentes de actividad hídrica actual. Algo parecido ocurre en afloramientos costeros e islas calcáreas que se extienden entre la región de Puerto La Cruz y Mochima. También se conocen algunas cuevas de erosión marina en la costa de Paria y en afloramientos de mármoles dispersos en la fila maestra de Araya, pero se trata de fenómenos de poca entidad, aunque, como en el caso de la Península de Paraguaná (en Falcón), pueden contener ingentes colonias de quirópteros y una fauna cavernícola peculiar, siendo muchas de ellas “cuevas

calientes”. Esta categoría es asignada a cuevas con baja circulación de aire, con condiciones ambientales excepcionales, principalmente por presentar temperaturas relativamente elevadas y constantes (aprox. 37 °C), y humedad próxima a la saturación. Un caso curioso resultó la Sima de Isla de Monos, frente a Guanta (estado Anzoátegui), por haber presentado un fenómeno fumarólico con emisión de gases por combustión natural de un depósito de guano de quirópteros. En Guanta se localiza también el sistema de la Sima An.1-cueva del Agua, con desarrollo kilométrico y un acuífero local. A lo largo de la cuenca del río Neverí existen otros afloramientos calcáreos, que se prolongan hasta su cabecera en el estado Sucre. Destaca por su caudal la cueva-surgencia del Viejo o nacimiento del río Negro y la cueva del Naranjal, con recursos hídricos importantes que son incorporados a la cuenca del Neverí. Del lado opuesto, sobre el valle de Cumanacoa, existen otros karsts con cavidades, pero de escasa actividad hídrica. En la fila montañosa de los cerros Peonía, Tristeza y Turimiquire, hay afloramientos calcáreos adicionales, habiéndose explorado algunas simas y cuevas en la zona de Bergantín, donde también existe un reporte de una sima que superaría los -200 m de desnivel, pero cuya exploración no ha sido completada. En todo caso se tratan de afloramientos de caliza con acuíferos locales, de pequeñas dimensiones.

GUAYANA VENEZOLANA

En el sur del país los karsts en cuarcita se presentan en numerosos tepuys, principalmente en la cuenca de los ríos Caroní-Paragua, Caura y Autana (estados Amazonas y Bolívar). Las rocas, karsificadas localmente, corresponden a las cuarcitas (cuarzo-arenitas) del Grupo Roraima (de edad Proterozoico, Pre-cámbrico inferior a medio) y rocas silíceas relacionadas (limolitas y lutitas intercaladas). Principalmente las cuevas se forman en cuarcitas compactas de la Formación Matauí, que ocupan la parte superior de la serie y el tope de los tepuys (i.e. mesetas tabulares de cuarcita). También hay algunas cavidades, de menor extensión, en las llanuras de la Gran Sabana (región de Icabarú, Santa Elena de Uairén, Chirikayén, salto Eutobarima, Apongauao) y base del Autana. El sistema hidrológico más extenso y de mayor desnivel es el de la Sima Aonda (Figura 2), con todo un conjunto de grandes simas que superan los -300 m de desnivel y alcanzan un máximo de -383 m en Sima Aonda (la cavidad de mayor desnivel de Venezuela), que alberga el río subterráneo colector del sistema en la galería Alí Primera, de 1,8 km de longitud. Varias simas actúan como sumideros y las aguas emergen de manera concentrada en una



Figura. 3. En el Cerro Misión del estado Falcón: (a) galería del río en la cueva El Miedo y (b) boca-sumidero de la cueva de la quebrada La Guaca. En la Sierra de Perijá del estado Zulia: (c) cueva de Las Brisas y (d) buceo en la galería inundada de la cueva La Cristalina. (e) Aspecto del río en la Galería Central del sistema Roraima Sur, tepuy Roraima del estado Bolívar y (f) surgencia de la cueva Grande de Anton Göering del estado Monagas. Crédito de fotografías: Rafael Carreño (a-e) y Miguel Leis (f).

cueva-surgencia colgada en la pared exterior del tepuy, a 400 m por debajo de la plataforma Aonda y sólo separada del fondo de Sima Aonda por una obstrucción de bloques. Los caudales mínimos de estiaje son del orden de 100 l/s pero son frecuentes caudales medios de 2 m³/s y caudales de crecida aún mucho más considerables. El área drenada en la plataforma es de 1,5 km² pero parte del caudal procede de un río superficial de la parte alta de la meseta, que se infiltra en la base de la segunda muralla tras precipitarse 100 m en cascada (Galán 1991a, Herrera et al. 2006).

Otros sistemas cercanos destacan y son Aonda Superior (2 km; -136 m), Auyantepuy Norte (650 m; -320 m) y Auyantepuy Noroeste, este último con 2.950 m y -370 m. Recientemente ha sido reportado el descubrimiento de otra gran cavidad subhorizontal en la parte este del tepuy, que según notas de prensa divulgativas alcanza 15 km de desarrollo de galerías, cifra que habrá que tomar con reservas porque hasta la fecha no ha sido dada a conocer su descripción y topografía, aunque sí han sido publicadas fotografías. En el macizo de Chimantá se conocen cavidades con circulaciones hídricas en varios sectores de Akopán (8 cavidades) y Amurí (6 cavidades), en la parte sur del extenso macizo. La cavidad más desarrollada es la Sima Akopán 1 (de 1.376 m) y el mayor desnivel en la sima Akopán 4, con -100 m, existiendo también todo un conjunto de grietas y cañones de profundidades variables.

En la parte norte de Churitepui, del mismo macizo, hay también reportes de otros sistemas de cuevas, con ríos subterráneos subhorizontales y galerías con grandes volúmenes internos; los sistemas totalizan 9 cuevas de desarrollo kilométrico en una superficie de 12 km² próxima al borde del tepuy (Brewer-Carías y Audy 2010). En la cadena de tepuys orientales (de la cuenca alta del río Caroní), sin duda el más extenso es el Sistema Roraima Sur, cavidad única con 18 bocas (6 bocas de cueva, 8 bocas de sima y 4 bocas abiertas a la pared exterior), que posee 11,2 km de galerías y -72 m de desnivel. Se localiza sobre el borde sur de la meseta, en territorio venezolano, y las aguas de su río subterráneo colector se sumen en un relleno de bloques para emerger a través de varias surgencias en la base de la pared y talud de la meseta, a 700 m de desnivel bajo la cumbre. Este sistema subhorizontal (aunque con varias simas) drena un área de 2 km² con un caudal medio en el colector de 310 l/s y puntas de crecida de más de 4 m³/s. La cavidad es actualmente la mayor del mundo en cuarcitas y resulta también notable por su morfología, diversidad de espeleotemas, rasgos litológicos, hidrografía y fauna caver-

nícola (Urbani et al. 2006). Frente a Roraima, en el vecino tepuy Kukenán, han sido exploradas cinco simas y cuevas, la mayor de ellas de -150 m de desnivel, con circulaciones hídricas locales. Más al norte, en el tepuy Yuruaní, han sido exploradas cinco simas, la mayor de ellas de -252 m de desnivel y con un río subterráneo de cierto caudal. Cavidades menores han sido exploradas en los tepuys Ilú, Tramen y WeiAsipu, con rasgos semejantes.

En la parte norte de la cuenca del río Caroní y a menor elevación se encuentra la extensa meseta de Guaiquinima, la cual posee un sistema de megadepresiones interconectadas parcialmente por cuevas menores. Un río de superficie se infiltra en las depresiones, de hasta -70 m de desnivel, circulando subterráneamente una distancia de 2 km para reaparecer en una surgencia sobre el mismo cauce. En aguas altas el sistema se inunda totalmente y en las depresiones se forman lagos. Se trata de un fenómeno de captura subterránea que se produce por la existencia de un paquete de metalimolitas intercaladas y que tienen por techo a cuarcitas compactas. El río es caudaloso, dada la extensa cuenca drenada, y su caudal medio anual se estima superior a 5 m³/s. En el Alto Paragua (importante afluente del Caroní) se encuentra la meseta de Marután, límitrofe con Brasil. Sobre la línea fronteriza y atravesando subterráneamente la misma se encuentran las cuevas de Urutany 1 y 2, con pequeños arroyos que drenan hacia Brasil. En la parte norte, enteramente en territorio venezolano, se encuentran el sector conocido como Aguapira, con dos grandes megadepresiones o gigantescas dolinas y un sistema con 11 cavidades exploradas, las mayores con simas que superan los -100 m de desnivel y cuevas de hasta 400 m de desarrollo individual de galerías. Existe un conjunto de drenajes subterráneos locales, que se dirigen hacia el fondo de las depresiones y la pared exterior, tributando al río Paragua.

En las cabeceras del río Caura se encuentra la meseta de Sarisariñama, con un conjunto notable de simas de gran diámetro y desnivel, localizadas al norte. La Sima Mayor tiene diámetros de 350 m y un desnivel total de -314 m, alcanzado en una sima interna. La Sima Menor posee diámetros máximos de 210 m y un desnivel total de -248 m, con dos cuevas en su interior de 988 m de desarrollo. A 8 km al sur de la Sima Menor se localiza la Sima de la Lluvia, de 1.352 m de desarrollo y -202 m de desnivel. En estas cavidades, aunque hay múltiples goteos y pequeñas circulaciones hídricas no había sido encontrado ningún drenaje de caudal importante, estimándose que el colector que generó las cavidades y simas de colapso circulaba bajo el relleno de bloques que hoy

obstruye sus fondos. Exploraciones más recientes para la filmación de un documental permitieron localizar la Sima de los Helechos, que a -150 m de desnivel intercepta un caudaloso río subterráneo que se precipita en una cascada con más de 100 m de desnivel y cuya continuidad no ha habido ocasión de explorar. Probablemente su exploración (si resultara libre de obstrucciones) permitiría comprender la complejidad del drenaje subterráneo en la zona profunda. En todo caso, es claro que estos fenómenos kársticos son el resultado observable de una actividad hídrica de disolución del macizo.

Igualmente, producto de una actividad hídrica anterior, es la cueva Autana (al norte del estado Amazonas), que perfora de lado a lado el tepuy del mismo nombre, con 600 m de galerías, a cotas de 150 m por debajo del nivel de la cumbre. En parte de estas galerías se conservan morfologías freáticas, scallops o huellas de corriente y cantos rodados, indicadores de una potente y pasada actividad hídrica. La torre Autana es el remanente erosional que queda de una meseta que, en el pasado, debió ser mucho más extensa que la cumbre actual. La cueva Autana resulta así, con toda probabilidad, una de las cuevas más antiguas del mundo. Entre sus notables rasgos destaca la presencia de curiosas espeleotemas, de ópalo, calcedonia y calcita, así como el descubrimiento de espeleotemas de Sveita, un mineral que resultó al momento de su hallazgo ser desconocido en otra región del planeta, y que constituye el segundo mineral descrito de localidades de Venezuela (Martini y Urbani 1984). En conjunto, aunque con ligeras variaciones, las aguas subterráneas de las cuevas en cuarcita de los tepuys de Guayana comparten características semejantes, son aguas color té, de bajo pH (ácidas), baja conductividad y pobres en nutrientes, con tenores de sílice en solución del orden de 2 a 5 mg/l. Localmente, las aguas que percolan en zona vadosa pueden alcanzar la sobre-saturación en algunos elementos y precipitan formando espeleotemas, siendo comunes los crecimientos biogénicos de ópalo-A, que se forman con intervención de bacterias (Urbani 1996). También destaca el carácter local y no generalizado de la karstificación en este tipo de rocas, donde la exploración de cavidades se ve dificultado por el difícil acceso.

ASPECTOS GEOLÓGICOS DE LOS KARST DE VENEZUELA

En el inventario anterior han sido citadas las principales formaciones geológicas de Venezuela que poseen acuíferos subterráneos. Ha sido explicado que los “ríos subterráneos” son en realidad una parte del sistema, correspondiente a drenes o grandes

conductos de circulación situados en la parte basal de la zona vadosa, pero sólo constituyen un elemento del sistema, que involucra además sectores inundados de la zona freática. Pero todas las redes de galerías en zona vadosa tuvieron actividad hídrica en el pasado, lo que fue disolviendo la roca y penetrando en profundidad, ya que la tendencia general del trabajo de disolución del volumen de roca en el karst es la de profundizar el drenaje, hacia el nivel piezométrico determinado por el nivel de las surgen- cias. Los conductos hoy bajo el nivel freático, en zona saturada, podrán quedar en el futuro en zona vadosa, bajo la forma de cavidades fósiles o hidrológicamente inactivas.

En estas cuevas en zona vadosa, con presencia o no de ríos subterráneos, sigue existiendo actividad hídrica a pequeña escala, debido a la infiltración dispersa de las precipitaciones sobre el afloramiento. Estas aguas de percolación, generalmente penetran en forma difásica (mezcla de agua y aire), y al alcanzar la atmósfera subterránea de las galerías, frecuentemente alcanzan valores de sobre-saturación y precipitan formando espeleotemas. Esta acumulación de minerales secundarios puede llegar a colmatar y obstruir completamente antiguas galerías. De igual modo, el ingreso de sedimentos, o el colapso de bloques, puede colmatar conductos y galerías, incluso con grandes espesores. Aunque el agua circule entre y bajo ellos, las galerías resultan obstruidas al acceso humano. Por lo que no siempre las cavernas en zona vadosa permiten acceder al acuífero profundo originario, incluso siendo del mismo sistema.

Entre los rasgos sobresalientes del karst y los ríos subterráneos están las espeleotemas, depósitos químicos cristalinos cuyas formas más comunes son las stalactitas y stalagmitas, a menudo de gran belleza estética. Venezuela resulta privilegiada por la enorme diversidad de espeleotemas que presentan sus cuevas. Desde 1960 los estudios sobre la mineralogía de las espeleotemas han resultado en la identificación de nueve grupos de minerales: Carbonatos (calcita, aragonito, azurita, dolomita, magnesita, malaquita); Haluros (halita); Nitratos (nitrammita, sveita); Óxidos e hidróxidos (goethita, litiofhorita, maghemita, ferrohidrita, oxi-hidróxidos amorfos de hierro y manganeso); Fosfatos (ardealita, brucita, carbonato-apatito, carbonato-flúor-apatito, cloro-apatito, evansita, flúor-apatito, hidroxy-apatito, alófano, palygorskita, sepiolita); Sulfatos (aluminita, amoniojarosita, bassanita, epsomita, yeso, hexahydrita, koktaita); Arseniatos (manganoberzelita); y Orgánicos (pigotita) (Urbani 1986, 1996). Esto coloca a Venezuela entre los países con mayor diversidad de minerales en sus cuevas, destacando la sveita, un mineral descubierto

en la cueva Autana. Actualmente hay numerosas muestras bajo estudio, con posibilidad de hallar nuevos minerales, así como otros previamente descritos pero encontrados por primera vez en el ambiente de cuevas (Herrera et al. 2006, Urbani et al. 2006).

Venezuela ha sido pionera en el estudio de cuevas en cuarcita, una litología inusual para la formación de cuevas, ya que se consideraba que no era posible la disolución de estas rocas silíceas en el endokarst. Ello suscitó el interés internacional por su estudio y atrajo a investigadores y grupos espeleológicos, con los que se llevaron a cabo exploraciones cooperativas conjuntas (entre ellos con grupos de Polonia, Italia, España, Inglaterra, Rumanía), contribuyendo así al conocimiento del subsuelo del país. De igual manera, los investigadores venezolanos de la SVE han aportado a su vez teoría general y datos que permiten comprender la génesis de cavidades en este tipo de rocas y muchos de los rasgos geomorfológicos que presentan los tepuys en superficie (Urbani 1986, Galán 1991a).

ASPECTOS BIOLÓGICOS DE LOS KARSTS DE VENEZUELA

Los ecosistemas de las cuevas de Venezuela son notables por su biomasa y biodiversidad. Muchas de ellas albergan grandes colonias de guácharos, quirópteros, roedores y peces. Pero también la diversidad de invertebrados es enorme. En las cuevas (o secciones de éstas) existen ambientes tanto eutróficos como oligotróficos. Muchos de los invertebrados son formas troglófilas (i.e. capaces de vivir en las cuevas, con leves adaptaciones al medio hipógeo), habiéndose descrito hasta el presente más de 500 especies troglófilas distintas (Galán y Herrera 2006). Sin duda la categoría que suscita mayor interés son las formas troglobias (i.e. especies que completan todo su ciclo de vida en las cuevas, en el ambiente subterráneo profundo, poseyendo un conjunto de aparentes adaptaciones especiales para la vida en ellas que ha sido denominado troglomorfismo).

Lo más sorprendente de la fauna troglobia es el alto grado de convergencia de caracteres anatómicos, fisiológicos y de estrategia de vida, y que repetidamente presentan los troglobios de distintos grupos zoológicos, en las más diversas regiones del globo. El troglomorfismo comprende caracteres anatómicos como: pérdida o atrofia del aparato ocular, adelgazamiento de los tegumentos y pérdida de la pigmentación somática, elongación del cuerpo y apéndices, reducción o atrofia de alas y otros apéndices con reducción de su capacidad de dispersión o de natación, multiplicación y optimización de la dota-

ción sensorial no óptica, como quimiorreceptores (Galán y Herrera 1998). Fisiológicamente es común una tasa metabólica reducida, bajo consumo de oxígeno por unidad de tiempo, hábitos alimentarios polífagos y resistencia al ayuno, menor número de huevos de mayor tamaño, etapas larvales contraídas, más lento desarrollo embrionario, mayor longevidad y deriva de la estructura poblacional hacia los adultos. Ecológicamente puede constatarse una pérdida de los ritmos internos más comunes, vida más pausada con frecuentes períodos de letargo, menor agresividad y menores reacciones de escape. Como estrategia de vida desde un punto de vista reproductivo existe en los troglobios la tendencia a pasar de una estrategia r (oportunistas, con gran flujo de energía a través de su biomasa) a una estrategia K (especialistas, altamente eficientes, capaces de mantener su biomasa con un moderado flujo de energía), y más precisamente a una estrategia A, esta última una estrategia de adversidad, apta para desenvolverse en un medio severo, de escasos recursos (Galán y Herrera 1998). En este sentido existe un claro paralelismo entre la fauna cavernícola y la fauna abisal marina (Galán 1995).

En suma, los troglobios poseen adaptaciones morfológicas, dotados de múltiples sensores, que resultan óptimas para la exploración, comunicación y búsqueda de recursos en un medio poco predictivo. La reducción y pérdida de ojos puede extenderse desde una atrofia perceptible hasta una completa desaparición de los ojos y estructuras asociadas (nervios ópticos y centros ópticos cerebrales). La despigmentación puede ser total o parcial y generalmente entraña la pérdida de melanina, y va unida a la pérdida de estructuras tegumentarias, e implica un incremento de la permeabilidad relacionada con el balance hídrico corporal. Esto es debido a que en la atmósfera subterránea la humedad relativa alcanza o está muy próxima a valores de saturación. La mayoría de los cavernícolas son estenohigrobios y requieren una elevada humedad atmosférica para controlar su balance hídrico. La razón de esto es que todos los animales pierden agua por evaporación y transpiración, y en las especies higrófilas la pérdida de agua es muy alta y muy rápida en un medio no saturado, produciendo una rápida deshidratación.

Los tegumentos de los cavernícolas generalmente son más delgados que los de las especies epígeas relacionadas. De ello resulta que sus tegumentos son permeables al agua y no pueden proteger a los cavernícolas de la pérdida de agua; como consecuencia, sólo pueden vivir en una atmósfera muy húmeda, saturada o muy próxima a la saturación. El efecto combinado de este adelgazamiento y aumento de la

permeabilidad de los tegumentos otorga a la mayoría de los troglobios una condición anfibia. Muchos artrópodos terrestres son capaces de penetrar en el agua y vivir en ella cierto tiempo. Los artrópodos cavernícolas poseen en este sentido una gran flexibilidad ecológica para mantenerse en diferentes medios, siempre que la humedad sea elevada. La representación de especies troglobias en cuevas y ríos subterráneos de Venezuela está desigualmente descrita. Para una síntesis efectuada en 2006 se reportaban 46 especies en 21 familias distintas (Galán y Herrera 2006). Pero trabajos detallados realizados en los últimos años en las cuevas de Los Laureles (Zulia), Cueva Grande (Monagas) y Coycoy de Uria (Falcón), agregaron 25 nuevas especies y 17 familias adicionales (Galán et al. 2009). Esto elevó la representación troglobia en por lo menos 71 especies en 38 familias distintas. Escapa al alcance de este trabajo enumerar las peculiares características biológicas y ecológicas de estas extrañas especies troglobias, pero se puede afirmar que cada una de ellas presenta rasgos excepcionales, de extraordinario interés biogeográfico y evolutivo, siendo además especies endémicas de Venezuela, restringidas incluso a karsts individuales. En cuevas de zona templada muy ricas en fauna, el número total de taxones raramente alcanza 70 especies distintas (incluyendo microfauna). El número de troglobios para cuevas individuales raramente pasa de 15-20 especies, situación muy común en las regiones de más alta diversidad de fauna cavernícola del globo, como el norte de España, sureste de Francia, norte de Italia, los Balcanes (países de la antigua Yugoslavia), Rumanía, o los karsts de Alabama (USA) y regiones lávicas de Japón (Galán et al. 2009). Por consiguiente, la diversidad hallada en las cuevas del norte de Venezuela resulta considerablemente alta y equiparable o mayor que la de regiones templadas ricas en fauna cavernícola de Eurasia y Norteamérica (Galán et al. 2009). Reportes de más de 100 taxones distintos para cuevas individuales, como los que se presentan en cuevas de Venezuela, son muy raros en la bibliografía espeleológica mundial.

La biomasa global de las cavidades estudiadas en Venezuela es extremadamente elevada y supera en dos o tres órdenes de magnitud los valores de biomasa de cuevas en zona templada. El valor más alto obtenido es el de Cueva Grande, de 3.824 kg o 153 kg por cada 100 m lineales de galerías; la biomasa por m^2 para el área total muestrada en la cavidad ($36.099\ m^2$), da un valor medio de 105,93 g/ m^2 . Como dato comparativo, en cuevas europeas ricas en fauna son frecuentes valores de entre 0,03 g/ m^2 a 0,05 g/ m^2 , por lo que nuestros datos suponen una

magnitud media 3 mil veces superior (2,1 a 3,5 mil veces superior). (Galán et al. 2009). Estos datos constituyen por consiguiente los más altos valores de biomasa reportados hasta la fecha para fauna de cuevas a nivel mundial.

Otras cuevas de Mata de Mango y Perijá, con mayor abundancia de fauna (p.ej. la Sima de Los González o la cueva del Samán), probablemente superan los datos de Cueva Grande y Los Laureles tanto en biodiversidad como en biomasa. Esto hace de las cuevas de estas regiones uno de los hotspots de fauna cavernícola más significativos a nivel mundial. Estudios como los de Culver et al. (2006), que analizan las zonas del mundo con mayor diversidad de troglobios, destacan la importancia de conservar tales hotspots, ya que ellos concentran los más altos valores de biodiversidad de fauna cavernícola, por lo cual resultan del más alto interés para la conservación de la biodiversidad global del país y del planeta.

ESTADO ACTUAL DE CONSERVACIÓN

Globalmente los acuíferos han jugado un rol fundamental en el aprovisionamiento de agua para las comunidades. En la actualidad países de Europa como Dinamarca, Portugal y Alemania satisfacen su suministro de agua potable hasta en un 90% a partir de las aguas subterráneas, y la demanda de este recurso ha crecido en algunas regiones hasta considerarlas sobre explotadas o agotadas (Danielopol et al. 2003). Igualmente comienzan a establecerse alertas sobre los niveles de consumo y contaminación de aguas subterráneas por la actividad agrícola, que demanda hasta un 70% de este recurso a nivel global, aspecto que debe tomarse en cuenta en el manejo de los acuíferos del país. Por su parte, la mayoría de los karsts venezolanos se encuentran (aparentemente) en buen estado de conservación, aunque sobre muchos de ellos se ciernen amenazas importantes. En realidad, la información objetiva sobre estos temas es por demás escasa, debido tanto a que han sido escasos los recursos para desarrollar estudios específicos como a la falta de datos antiguos que permitan hacer un estudio comparado o un seguimiento de los cambios ocurridos a través del tiempo (Viloria 2005, Galán et al. 2009). Algunos casos puntuales de efectos negativos son conocidos y resultan ilustrativos de cierto tipo de amenazas. Por ejemplo, en la cueva del Guácharo (y otras muy frequentadas) es conocida la destrucción total de espeleotemas en el Salón de Los Pechos y el Salón Precioso, antes de la declaratoria del parque nacional.

Otro ejemplo es el de una cantera, en Ocumare del Tuy, que arrasó el afloramiento de una cueva con

un importante yacimiento paleontológico y fauna de interés. Hay otros casos donde se exterminaron colonias de quirópteros porque se pensaba que podrían contener vampiros portadores de rabia. No obstante, estos no constituyen los impactos más negativos sobre el karst. Para entender mejor el tema es necesario mencionar algunos puntos significativos sobre la conservación de los acuíferos kársticos. Entre ellos:

1. El karst se encuentra entre los sistemas hídricos más vulnerables ante la contaminación. Debido precisamente a que son TPG (terrenos permeables en grande) no tienen capacidad de filtración ni de autodepuración. Esto es conocido desde los inicios de los estudios bacteriológicos. Cualquier contaminante que pase al karst a lo sumo puede diluirse en el volumen total del acuífero, pero sin depuración. Y la contaminación, química u orgánica, puede permanecer largo tiempo en los sistemas anexos, es decir, tienen una baja resiliencia y una baja capacidad de recuperación. Obviamente, el paso de contaminantes al karst afectará a la calidad de las aguas y a los ecosistemas subterráneos y sus especies, incluyendo casos de corrosión de la roca y destrucción de pinturas rupestres.
2. Debido a que las precipitaciones se infiltran al karst de modo disperso, tras atravesar el suelo y estratos subsuperficiales, las aguas que contengan compuestos altamente tóxicos como pesticidas, plaguicidas, metales pesados, químicos, defoliantes y organismos genéticamente modificados, incluso nutrientes nitrogenados que por su concentración contribuyen con procesos de eutrofización y anoxia, alimentarán a los acuíferos alterando la biota existente. Evaluar el impacto de estos compuestos en los ecosistemas subterráneos es complejo pero se puede relacionar los datos obtenidos en superficie para comprender la sensibilidad de estos sistemas. Beketov et al. (2013) reportan que, tras una evaluación del efecto de los agroquímicos en quebradas y ríos de zonas agrícolas de Alemania, Francia y Australia, obtuvieron una reducción de hasta 42% de los taxones propios de estos sistemas, lo que resulta en una pérdida de biodiversidad extraordinariamente alta. Esto refleja la sensibilidad de los organismos acuáticos a compuestos químicos como la atrazina, simazina, paratión (plaguicidas), y metales pesados como el mercurio, cadmio y selenio presentes en los agroquímicos de uso frecuente. Los niveles de sensibilidad para organismos adaptados a los ecosistemas subterráneos,
- que como se mencionó presentan modificaciones como el adelgazamiento del tegumento, deben ser mayores, y por tanto, su vulnerabilidad.
3. La deforestación en la superficie es otra causa importante de impacto negativo. En último término el karst es un sistema abierto al intercambio y, aunque existe cierta producción autóctona (a partir de bacterias quimio autótrofas que sintetizan en oscuridad total, donde faltan las plantas verdes), lo esencial cuantitativamente es el aporte de nutrientes desde superficie al endokarst.
4. La deforestación no sólo priva a los ecosistemas de nutrientes indispensables, sino que produce aridez subterránea, arrastra sedimentos erosionados, e introduce bacterias heterótrofas oportunistas que eliminan las poblaciones autótrofas autóctonas, afectando de modo especial a fases larvarias y juveniles de especies troglobias. Este factor es para los karst del norte de Perijá y los afloramientos del estado Miranda y Sucre, y en menor grado la Sierra de San Luis, el más importante de evaluar en la actualidad, ya que las cuencas asociadas han sufrido avances de la frontera agrícola, con la consecuente reducción de la cobertura vegetal y sus implicaciones en los aportes de materia orgánica, dinámica estacional y merma de los aportes de agua a los sistemas (Ríos et al. 1991).
5. Según los criterios establecidos por Rodríguez et al. (2010), estos ecosistemas de bosques se encuentran en categoría de Peligro Crítico principalmente por las elevadas tasas de deforestación de las últimas tres décadas. En el caso en que la pérdida de la cobertura vegetal esté asociada al uso de agroquímicos la condición de los ecosistemas subterráneos puede ser aún más grave que lo apreciado en superficie.
6. Las cuevas son ambientes frágiles que mantiene una relativa constancia en muchos parámetros ambientales y, salvo raras excepciones (por reunir condiciones peculiares) no toleran el impacto del turismo de masas. Existe múltiple documentación de cuevas turísticas en el mundo que han perdido su biota y han resultado degradadas (Culver y Pipan 2009). Se menciona este aspecto debido al potencial riesgo ante la proliferación de empresas de turismo de aventura que, por ánimo de lucro, propician una afluencia masiva de turistas a cavernas emblemáticas, algunas de ellas con ecosistemas acuáticos que resultan muy frágiles a las perturbaciones, sin las debidas evaluaciones de impactos y su capacidad de carga.
7. Un número muy elevado de los acuíferos kársticos reseñados en este capítulo se encuentran

incorporados a Áreas Bajo Régimen de Administración Especial, en especial Parques Nacionales y Monumentos Naturales. Establecer con precisión el estado de conservación requiere estudios detallados, pero ciertamente, utilizando como indicadores la calidad de los ecosistemas que se encuentran en superficie, se puede inferir la calidad de los cuerpos de agua subterráneos de estos karsts.

Sólo en aquéllas áreas muy remotas o con muy limitada presencia humana se pueden estimar condiciones saludables de los acuíferos, como en las cumbres de tepuys, el karst de Mata de Mango y algunos sectores de la sierra de Perijá. Por ello, la declaratoria de Parque Nacional o área protegida, no elimina las citadas amenazadas, salvo que existan estudios previos que sustenten un adecuado plan de conservación y manejo.

Por otro lado, vemos con preocupación cómo durante los últimos lustros se ha dificultado el acceso y estudio de las cuevas, que durante décadas se realizó con la participación de las comunidades locales e instituciones regionales (como el Instituto Nacional de Parques, autoridades militares, escuelas, etc.), limitándose la posibilidad de incrementar la divulgación e información de estos espacios que forman parte del acervo de los venezolanos.

CONSIDERACIONES FINALES

En el presente texto se ha pasado revista a los principales ríos subterráneos conocidos, y a los valores biológicos y geológicos que encierran. Aunque los datos sobre caudales de sequía (en los cursos observables) puedan parecer modestos, hay que destacar que en la mayoría de los casos se requiere de estudios que cuantifiquen las reservas hídricas locales de estos acuíferos y su dinamismo. Los cuales podrían ser objeto de una explotación racional, para el consumo humano, el agro y la industria, sobre todo en regiones con problemas de abastecimiento o que padecen de escasez de agua en épocas secas.

A nivel de amenazas o riesgo ecológico, ha sido señalado que la situación general en los karsts de Venezuela es buena, de alta calidad de las aguas y de poca alteración. No tanto porque esto haya sido producto de una toma de conciencia o de una gestión humana inteligente, sino porque se trata de karsts situados en zonas remotas, poco pobladas o de difícil acceso. Pero en la medida que la antropización del territorio avanza, se aproximan los problemas y se acrecientan los riesgos. Los acuíferos subterráneos que presentan mayor vulnerabilidad ante impactos humanos y mayor número de valores ecológicos en situación de amenaza son, en nuestra

opinión (basada en observaciones de campo, tras más de 50 años de estudios y exploraciones en el territorio nacional), los siguientes:

1. La mitad norte de la Sierra de Perijá, en especial las cuencas de los ríos Guasare y Socuy, pues albergan las mayores cavernas y acuíferos subterráneos del país, con ecosistemas y rasgos hidrogeológicos notables. Hace algunos años eran regiones poco o nada pobladas que conservaban una selva primaria y ecosistemas intactos. El avance de la frontera agropecuaria por obra de terratenientes locales, los asentamientos precarios de campesinos colombianos desplazados de sus tierras de origen, o los crecientes intereses carboníferos de empresas multinacionales y políticas nacionales a favor de la minería, están alterando de modo rápido y alarmante la situación anterior. Hoy, la deforestación de estas cuencas ha avanzado en gran medida (ver Rincón 2017); hay cultivos intensivos que generan una gran destrucción de selva primaria, y por último, la minería de carbón prosigue, con planes de expansión sobre estas cuencas y los karsts que contienen. Los ríos subterráneos en la mitad norte de la Sierra de Perijá se encuentran en una condición importante de amenaza, que tiene implicaciones sobre su diversidad y recursos hídricos, superficiales y subterráneos. Por tanto, deberían tomarse pronto medidas de conservación y regulación, impidiendo todos los usos indeseables y nocivos al sistema.
2. La Sierra de San Luis. Rodeada de zonas áridas, de larga tradición agrícola, y con crecientes necesidades de agua para poblaciones e industrias cercanas, alberga también un potente karst con notables reservas hidráulicas, que incluso podrían ser objeto de una explotación sostenible, que no altere sus características esenciales. Hasta ahora el karst y la cobertura boscosa asociada al sistema tienen un nivel de amenaza bajo, en parte por la presencia de la figura de parque nacional, aunado a la conciencia de los pobladores, pero debe destacarse que lo reducido de la cuenca y la presión agrícola confieren alta vulnerabilidad al sistema. Especial atención debe prestarse a las consecuencias del empleo de fertilizantes y pesticidas en las actividades agrícolas y a la extracción excesiva de agua para usos urbanos e industriales, sin estudios previos de los balances hídricos que es necesario sostener para garantizar las reservas y su calidad, además de la permanencia de las biotas asociadas. En este sentido, las organizaciones comunales campesinas pueden tener una per-

cepción ambiental adecuada debido a la memoria histórica en el uso compartido de los recursos naturales.

3. Se incluyen los restantes karsts, que en algunos casos ya cuentan con cierta protección del sistema de parques nacionales y áreas naturales protegidas, que combinadas con densidades poblacionales bajas y acceso limitado, han favorecido la conservación de la cobertura vegetal, que se estima, se refleja en las condiciones de los sistemas subterráneos.

Tras señalar estos puntos, queremos destacar que para garantizar la calidad de las aguas y ecosistemas subterráneos, el meollo de la cuestión reside en un ámbito de valores y de equilibrio entre su uso y su conservación, de manera inteligente y democrática, de modo que resulte sustentable para la naturaleza, como útil para las generaciones humanas actuales y futuras. Sin duda, deben evitarse los problemas directos o indirectos de contaminación y pérdida de cobertura forestal, la minería, los planes inadecuados de turismo de masas, y las intromisiones extranjeras disfrazadas como exploraciones o proyectos de investigación, que puedan propender a la geo y biopiratería, para lo cual se requieren mecanismos de control que garanticen que los resultados obtenidos queden y contribuyan al acervo nacional. Los ríos subterráneos y acuíferos kársticos de Venezuela contienen valores geográficos y científicos, a la vez que encierran un considerable potencial para la investigación, estudio y conocimiento de las jóvenes generaciones de estudiantes y profesionales. Sus aplicaciones en el campo social y para el desarrollo de las comunidades locales contienen muchos componentes intangibles, pero valorables como bienes culturales colectivos y como parte del patrimonio del país.

A modo de conclusión: la efectiva valoración de los acuíferos requiere de su estudio y divulgación. En el caso de las cavernas y ríos subterráneos de Venezuela, es necesario proseguir la exploración del territorio, y de sus acuíferos y cavernas, uniendo la investigación científica a las exploraciones subterráneas y al concurso de los habitantes donde están enclavados esos valores. Tenemos no sólo el deber moral, sino la obligación, de dejar a nuestros hijos y nietos un planeta habitable. Y los ríos subterráneos y las maravillas que encierran debieran ser considerados objeto especial de conservación.

Agradecimientos

Los autores agradecen de modo especial a los compañeros y colaboradores de la SVE que han participado en la exploración y estudio de las caver-

nas de Venezuela, así como a los investigadores (nacionales y extranjeros) que han aportado contribuciones a su estudio y conocimiento. Igualmente agradecemos a Grisel Velásquez, Maribel Ramos y Juan Carlos Granadillo por la elaboración de las figuras que ilustran el presente texto.

BIBLIOGRAFÍA

- La base de datos empleada es del Catastro Espeleológico de Venezuela, publicado en el Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología, números 1-42 (1967-2008). Se anexan referencias significativas y de fácil acceso:
- Beketov, M. A., Kefford B. J., Schäfer, R. B. y Liess, M. 2013. Pesticides reduce regional biodiversity of stream invertebrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 110: 1039-1043.
- Bosque, C. 1986. Actualización de la distribución del guácharo (*Steatornis caripensis*) en Venezuela. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*. 22: 1-10.
- Brewer-Carías, C. y Audi, M. 2010. Entrañas del Mundo Perdido. Altolitho C.A. Caracas, Venezuela.
- Culver D.C. y Pipan, T. 2009. *The biology of caves and other subterranean habitats*. New York: Oxford University Press.
- Culver, D., Deharveng, L., Bedos, A., Lewis, J., Madden, M., Reddel, R., Sket, B., Trontelj, P. y White, D. 2006. The mid-latitude biodiversity ridge in terrestrial cave fauna. *Ecography*. 29: 120-128.
- Danielopol, D., Griebler, C., Gunatilaka, A. y Notenboom, J. 2003. Present state and future prospects for ground-water ecosystems. *Environmental Conservation*. 30: 104-130.
- De Freitas, F. J. y Coronel, A. 2012. Caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas del acuífero Mesa-Las Piedras, Venezuela. *Revista Latino-Americana de Hidrogeología*. 8: 9-19.
- Galán, C. 1991a. Disolución y génesis del karst en rocas silíceas y rocas carbonáticas: un estudio comparado. *Munibe (Ciencias Naturales)*, S. C. Aranzadi. 43: 43-72.
- Galán, C. 1991b. Hidrología del Sistema del Samán. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*. 25: 15-25.
- Galán, C. 1991c El karst de la Fila de las Cuevas (zona kársticas de Mata de Mango), Monagas, Venezuela. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*. 25: 1-14.
- Galán, C. 1995. Fauna troglobia de Venezuela: sinopsis, biología, ambiente, distribución y evolución. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*. 29: 20-38.
- Galán, C. Herrera, F., Rincón, A. y Leis, M. 2009. Diversidad de la fauna cavernícola de los karsts en caliza del norte de Venezuela. *Publicaciones Dpto. Espeleología S. C. Aranzadi*. (www.aranzadi.eus). Versión electrónica accedida 01-04-2016.
- Galán, C. y Herrera, F. F. 1998. Fauna cavernícola: ambiente y evolución. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*. 32: 13-43.
- Galán, C. y Herrera, F. F. 2006. Fauna cavernícola de Venezuela: una revisión. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*. 40: 39-57.
- Hernández-Montilla, M. C. y Portillo-Quintero, C. 2010.

- Conversión de los bosques del norte de la Sierra de Perijá, estado Zulia. (pp: 257-263) En: Rodríguez, J. P. Rojas-Suárez, F. y Giraldo, D. (Eds). 2010. *Libro rojo de los ecosistemas terrestres de Venezuela*. Pro vita, Shell Venezuela, Lenovo (Venezuela). Caracas, Venezuela.
- Herrera, F. F., Urbani, F., Astort, J., Carreño, R., Viloria, A., Galán, C., Scaramelli, F., Tarble, K. y Rincón, A. 2006. Sociedad Venezolana de Espeleología 2007: Profile of structure, history, activities and explorations. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*. 40: 4-11.
- Herrera, F. F. 2003. Distribución actualizada de las colonias de guácharos (*Steatornis caripensis*) en Venezuela. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*. 37: 31-40.
- Kotwicki, V. 2009. Water balance of Earth / Bilan hydrologique de la Terre. *Hydrological Sciences Journal*. 54(5): 829-840, DOI: 10.1623/hysj.54.5.829
- Martini, J. E. y Urbani, F. 1984. Sveita, un nuevo mineral de la cueva del cerro Autana (Am.11), Territorio Federal Amazonas, Venezuela. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*. 21: 13-16.
- Pimentel, E. T. y Hamza, V. M. 2013. Pioneering insights into deep groundwater movements in the Paraná Basin: Comparison with subsurface flows in the Amazon Region. En: *Libro de Resúmenes del 13ro Congreso Internacional de la Sociedad Brasileña de Geofísica*. Rio de Janeiro, Brazil. 26 al 29 de agosto, 2013.
- Rincón, J. 2017. Los ríos en la vertiente occidental del Lago de Maracaibo. Capítulo 1. (pp: 15-28). En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.), *Ríos en riesgo de Venezuela. Vol. I. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela*. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Ríos, M., Szabadics, S. y Martínez, N. 1991. *Aproximación metodológica para la planificación del aprovechamiento turístico recreacional en áreas cársticas: caso Cueva Alfredo Jahn, Municipio Foráneo Capaya. Estado Miranda*. Tesis de Grado. Geografía. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales. UCV. Caracas, Venezuela.
- Rodríguez, J. P. Rojas-Suárez, F. y Giraldo, D. (Eds.). 2010. *Libro rojo de los ecosistemas terrestres de Venezuela*. Pro vita, Shell Venezuela, Lenovo (Venezuela). Caracas, Venezuela.
- Rodríguez, L. M. y Galán, C. 2008. Las zonas kársticas de la Sierra de Perijá, Venezuela: cavidades estudiadas y rasgos geológico-estructurales. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*. 42: 7-19.
- Urbani F. y Rodríguez, J. A. (Eds.) 2006. *Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa*. Universidad Central de Venezuela, Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas y Fundación Geos, Caracas, Venezuela.
- Urbani, F. 1986. Notas sobre el origen de las cavidades en rocas cuarcíferas precámbricas del Grupo Roraima, Venezuela. *Interciencia*, 11(6): 298-300.
- Urbani, F. 1996. Venezuelan cave minerals: a review. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*. 30: 1-13.
- Urbani, F., Galán, C. y Herrera, F. F. 2006. 55 años de exploraciones espeleológicas en Venezuela. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*. 40: 17-33.
- Viloria, A. L. 2005. Evaluación de la situación de los organismos troglobios y troglófilos conocidos en territorio venezolano para su inclusión en las listas de la UICN. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Espeleología*. 39: 87.



En la depresión de Carora el río Diquiva tiene una corriente fragmentada y contaminada por embalses y emporios industriales; más abajo, los pueblos sin riberas, sofocados y mudos esperan por las escasas y erráticas lluvias (fotografía de D. Rodríguez-Olarte).

Capítulo 8

Escenarios de cambio climático y la conservación de los ríos de Venezuela

Carlos MÉNDEZ¹, Meimalin MORENO¹, José V. MONTOYA²,
Ana FELICIEN¹, Nina NIKONOVA¹ y Carmen BUENDÍA¹

1. Laboratorio de Ecosistemas y Cambio Global. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas.
cmendez@ivic.gob.ve, memoreno@ivic.gob.ve, afelicien@ivic.gob.ve, nnikonov@ivic.gob.ve,
cbuendia@ivic.gob.ve
2. Laboratorio de Ecología Acuática. Centro de Ecología. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. jose.v.montoya@gmail.com

El 6% de las especies descritas del planeta es sostenido en apenas 0.8% de su superficie, que es la superficie ocupada por los sistemas dulceacuícolas, siendo estos los sistemas megadiversos más amenazados del planeta. Adicionalmente, las evidencias del cambio climático de las últimas décadas, sugieren que en el futuro cabe esperar importantes impactos sobre la dinámica hidrológica y biológica de los ríos. Con el objetivo de ofrecer de manera preliminar, prioridad sobre áreas de conservación de ríos, tomando en cuenta los impactos del Cambio Climático, este capítulo analiza cinco casos de estudio en cuanto a su dinámica hidrológica y prioriza grandes áreas de conservación basándose en la información climática, de influencia humana y áreas protegidas. A partir de grandes zonas climáticas, cuencas hidrográficas y áreas biogeográficas, surgieron siete áreas de conservación de ríos. Bajo los escenarios de ruta de concentración de gases de efecto invernadero más optimista (RCP 2.6) y más pesimista (RCP 8.5) para los años 2050 y 2070, se observó la modificación de la descarga de los casos de estudio de los ríos Matícora, Neverí, Apure, Caura y Negro. La descarga se verá afectada en el futuro como producto de la sequía meteorológica y modificación de la evapotranspiración, dependiendo directamente del área geográfica e indirectamente de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera. El aumento de la temperatura será heterogéneo sobre el territorio nacional, siendo las zonas más impactadas: sur del lago de Maracaibo, península de Paraguaná y los llanos occidentales. Esto generará un importante cambio multiescalar, tanto en la composición de la biota de los ríos como en los procesos ecológicos que allí ocurren. De acuerdo con los criterios empleados en este estudio se sugiere dar prioridad de conservación a las áreas del norte del Orinoco, en especial los llanos occidentales, y al Esequibo.

Palabras Clave: Cambio climático, descarga, modelos hidrológicos, conservación de ríos, escenarios climáticos.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas dulceacuícolas son los más amenazados del planeta (Vörösmarty et al. 2010, IPCC 2014). La creciente presión de uso sobre las funciones ecológicas de los ríos, para la satisfacción de las crecientes demandas de agua de los diversos procesos productivos y desarrollo, coloca a estos sistemas en un alto riesgo de ser degradados por amenazas como las represas y embalses, la contaminación química, el uso para riego, industrial o consumo humano, así como las especies introducidas o la sobreexplotación pesquera (Millenium Ecosystem Assessment 2005). Estos sistemas poseen un alto endemismo y sostienen el 6% de todas las especies descritas en el planeta (Dudgeon et al. 2006) y un tercio de la diversidad global de vertebrados en apenas 0,8% de su superficie, destacando los sistemas tropicales por su megadiversidad. Sin embargo, esta megadiversidad ha sido poco valorada, encontrándose que globalmente se describe cerca de una nueva especie por día y que solo para América del Sur se describió una nueva especie cada cuatro días en el período 2001-2006, siendo el endemismo un fenómeno frecuente (Abell et al. 2008). Esta diversidad biológica es acompañada de una de las tasas de extinción más elevadas, siendo la actividad humana, en la gran mayoría de los casos, la causa de la extinción (Strayer y Dudgeon 2010). Así, no solo la biota natural de los ríos se ve amenazada por el creciente sistema de consumo de las poblaciones humanas, sino que al ser los sistemas dulceacuícolas la principal fuente de agua dulce para los humanos, cerca del 80% de la población global ve amenazada su seguridad de acceso al agua (Vörösmarty et al. 2010).

No obstante las amenazas ya señaladas, se suma recientemente el incremento acelerado de la temperatura del aire y el consecuente cambio climático. El cambio climático definido como el cambio en el estado general del clima, ya sea en su media o variabilidad, es uno de los mayores retos que enfrenta la humanidad en este siglo. Este cambio del clima impacta al globo de maneras diversas, que van desde el aumento del nivel del mar, pasando por el deshielo de los glaciares, el aumento de las enfermedades humanas y el aumento en la intensidad y periodicidad de eventos extremos como las inundaciones, sequías y olas de calor, entre otros (IPCC 2012). Estos impactos se originan, al mismo tiempo que se retroalimentan, de cambios en la dinámica biofísica del sistema planetario (IPCC 2014). El cambio climático afecta indirectamente los ecosistemas de agua dulce por causar cambios en los patrones socioeconómicos y el uso de la tierra, como también directamente por los cambios de temperatura y precipitación. En adición, los cambios directos que la variación de la temperatura y la

precipitación tienen sobre los procesos y patrones de los sistemas de agua dulce, son a su vez regulados por las complejas interacciones sinérgicas, antagonistas o de retroalimentación positiva o negativa que se originan como consecuencia del uso y manejo de la biodiversidad en sus diferentes escalas (Allan y Castillo 2007, Hamilton 2010, Woodward et al. 2010, Castello y Macedo 2015). En el futuro los cambios esperados implican, además del aumento de la temperatura, cambios en la cantidad y frecuencia de la lluvia, por lo que cabe esperar efectos directos sobre la dinámica hidrológica y biológica de los ríos en Venezuela. Al mismo tiempo, la temperatura del aire se relaciona directamente con la temperatura del agua, influenciando los procesos químicos y biológicos de los ríos, afectando la calidad del agua y la biota que los ríos pueden sostener (van Vliet et al. 2011, Comte et al. 2013).

En general los cambios del clima previstos para América del sur indican un aumento considerable de la temperatura en las próximas décadas y un cambio en la distribución espacial y estacional de las lluvias (IPCC 2014). Conocer cuáles serán los impactos de estos cambios en el sistema climático sobre nuestro país es de vital importancia para la planificación y desarrollo de las actividades socioeconómicas y sobre todo, para la toma de decisiones en torno a la protección de la población venezolana. En este capítulo se proponen grandes áreas de conservación de ríos de Venezuela, basadas en una sucinta revisión de la relación entre el clima, las grandes cuencas de Venezuela y las áreas de manejo y conservación previamente propuestas en la literatura. Seguidamente, se presenta el análisis de casos de cambios en la dinámica hidrológica de los grandes sistemas de ríos frente a los escenarios futuros de cambio climático. Finalmente, se discuten los posibles efectos de los cambios de precipitación y temperatura sobre la biota de los ríos a manera de priorizar preliminarmente grandes áreas de conservación de ríos en Venezuela.

EL CLIMA DE VENEZUELA

Aunque la mayor parte de la extensión territorial de Venezuela presenta un clima tropical lluvioso de régimen isotérmico, también dispone de una diversidad importante de tipos climáticos (Bracho 2005). Los principales factores que influyen sobre la heterogeneidad espacial de los tipos climáticos en Venezuela son: 1) el relieve, que influye sobre la temperatura pues ésta disminuye al aumentar la altitud, aunque en menor grado, la topografía también influye sobre la precipitación al crear barreras físicas a la circulación atmosférica y la consecuente formación de áreas de barlovento-sotavento; y 2) la influencia de la

Zona de Convergencia Intertropical (ZCI), lo que origina un gradiente de precipitación con orientación dominante norte-sur, cuya mayor precipitación ocurre hacia el sur.

La temperatura media anual fluctúa entre los 16 y 30 grados Celsius, ubicándose las menores temperaturas en las regiones de montaña como los Andes y las cimas de los tepuyes, donde se observan temperaturas mínimas por debajo de los 0 grados Celsius, mientras que las temperaturas más altas ocurren en las zonas bajas de la cuenca del Lago de Maracaibo, Península de Paraguaná y los Llanos occidentales. La amplitud anual de la temperatura, definida como la diferencia de temperatura entre el mes más cálido y el mes más frío del año, se ubica por debajo de los 5 grados Celsius, mientras que la amplitud diaria (diferencia entre temperatura máxima y mínima diaria) puede superar la decena de grados Celsius. La precipitación total anual fluctúa entre poco menos de los 300 mm hasta unos 3.500 mm, siendo las zonas más áridas las del norte costero del país y las más húmedas las del sur, en los estados Amazonas y Bolívar, donde puede llegar a precipitar hasta 6.000 mm (Bracho 2005). La humedad relativa del aire es permanentemente alta y usualmente por encima del 70%, mientras que la evapotranspiración puede alcanzar los 2.000 mm en las regiones más cálidas (Tabla 1).

METODOLOGÍA

Enfoque general

La priorización de áreas de conservación de ríos de Venezuela se realizó utilizando información biogeográfica y bioclimática de escala global y climática e hidrológica en escala nacional. Esta información fue procesada de forma consecutiva, partiendo por la elaboración de grandes áreas de conservación de ríos, continuando con la evaluación del impacto futuro del cambio climático en las áreas de conservación pro-

puestas, para finalizar con la priorización sobre dichas áreas. La propuesta de áreas de conservación de ríos de Venezuela se realizó armonizando información de ecorregiones, como una aproximación biogeográfica, e información de delimitación de cuencas hidrográficas, como aproximación hacia unidades funcionales hidrológicas. Todo ello mediante sistemas de información geográfica. Con el fin de conocer la homogeneidad climática de cada área de conservación propuesta, éstas fueron contrastadas contra la información bioclimática, resumida como zonas climáticas (para detalles sobre la obtención de zonas climáticas ver sección metodológica de áreas de conservación de los ríos y zonas climáticas de Venezuela). La evaluación del impacto futuro del cambio climático en las áreas de conservación se realizó mediante el contraste de los valores de las variables bioclimáticas en el presente contra los valores indicados por los modelos y escenarios futuros de cambio climático y el cambio provocado en el régimen hidrológico de casos de estudio (para detalles sobre modelos y escenarios climáticos ver sección metodológica de modelos hidrológicos). Finalmente, la priorización de áreas para la conservación de ríos en Venezuela se realizó en el contexto de la clasificación en zonas climáticas, tomando como criterios los cambios proyectados para los regímenes hidrológicos de los casos de estudio, los cambios proyectados para las variables bioclimáticas que resultaron relevantes, la intervención humana y las áreas protegidas.

Áreas de conservación de los ríos y zonas climáticas de Venezuela

En Abell et al. (2008) se definen diferentes ecorregiones de agua dulce del planeta que fueron utilizadas en este trabajo como una aproximación a la información biogeográfica global, dado que dichas ecorregiones se basan en la información biogeográfica conocida hasta

Tabla 1. Valores medios anuales de las variables meteorológicas de grandes regiones de Venezuela (periodo 1990-1997). Modificado de Bracho (2005).

Variables	Guayana	Llanos	Cordillera de la Costa	Región Zuliana	Depresión Lara-Falcón	Andes
Precipitación (mm)	1.400-3.400	600-2.200	600-2.400	300-2.800	400-800	800-2.800
Evaporación (mm)	1.800-2.000	2.000-2.700	1.000-2.000	1.500-2.400	2.500-3.600	1.000-1.500
Evapotranspiración potencial (mm)	1.000-1.800	1.200-1.800	1.000-1.400	1.400-2.000	1.200-1.800	600-1.600
Temperatura (°C)	20-30	19-26	18-27	20-30	20-30	16-20
Humedad relativa (%)	80-98	65-75	75	85-90	75	80

el momento de su publicación. Esta información junto con la delimitación de 16 regiones hidrográficas establecida en la Ley de Aguas de la República Bolivariana de Venezuela y la delimitación de las grandes cuencas hidrográficas de Venezuela, permitió delimitar en escala nacional la información biogeográfica para definir áreas de conservación preliminares y luego incorporar la información bioclimática.

La información bioclimática se obtuvo a partir de una selección sobre las 19 variables bioclimáticas propuestas por Hijmans et al. (2005), correspondientes al período 1950-2000, con resolución de 30 arc segundos. Estas variables representan las principales características climáticas del planeta con influencia en la distribución espacial de la vegetación y, en consecuencia, también en la distribución de otros seres vivos. Las zonas climáticas fueron obtenidas por agrupamiento (clúster) de las variables bioclimáticas no colineales, sobre la extensión territorial de Venezuela. La superposición de la información biogeográfica (áreas de conservación preliminares) y la información bioclimática (zonas climáticas de Venezuela) en escala nacional, tomando en cuenta los criterios de homogeneidad climática y similaridad biogeográfica, generó como resultado la delimitación de Áreas de Conservación de los ríos de Venezuela, sobre las cuales se seleccionaron los casos de estudio para aplicar los modelos hidrológicos y, finalmente, proponer una priorización de dichas áreas de conservación. La homogeneidad climática fue considerada acá como la relación entre el número de zonas climáticas y su extensión dentro de cada área de conservación propuesta, de manera que un área de conservación tendrá mayor homogeneidad climática si presenta pocas zonas climáticas diferentes en la mayor parte de su extensión.

Modelos hidrológicos

De las grandes áreas de conservación resultantes (ver resultados, Tabla 2) se seleccionaron cinco casos de estudio (ver discusión, Tabla 3) de acuerdo con su relevancia para las grandes cuencas de Venezuela, además de la disponibilidad de datos hidrometeorológicos (caudales, temperatura media del aire y precipitación mensuales) en los registros nacionales llevados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). Dichos casos de estudio son: al norte del país los ríos Matícora y Neverí, como representantes de la situación hidroclimática del noroccidente y nororiente, respectivamente. Estos son seguidos de las cuencas de los grandes ríos, como el Apure en la región norte del Orinoco y el Caura al sur. Por último, como representante de la hidrometeorología del extremo sur del país, se analizó la porción de la cuenca del Río Negro correspondiente a Venezuela.

Para estimar la descarga de los ríos en el futuro se empleó la metodología de modelo de precipitación-escorrentía, basada en la identificación de hidrogramas unitarios y componentes del flujo a partir de datos de lluvia, evaporación y descarga a escala de cuenca (*Identification of unit Hydrographs and Component flows from Rainfall, Evaporation and Streamflow data, IHACRES* por sus siglas en inglés), utilizando el paquete hydromad (Andrews y Guillaume 2015) en el lenguaje R (R Core Team 2015). El modelo fue calibrado y luego evaluado por validación cruzada a partir de datos de descarga, precipitación y temperatura mensuales obtenidos desde la página web del INAMEH (www.inameh.gob.ve) para cada caso de estudio.

Con los parámetros obtenidos en la calibración se simuló la descarga esperada para los años 2050 (media del período 2040-2060) y 2070 (media del período 2060-2080) según los escenarios de cambio climático estimados a partir de las rutas representativas de concentración de gases de efecto invernadero (Representative Concentration Pathway, RCPs por sus siglas en inglés) RCP 2.6 y RCP 8.5 siguiendo los modelos acoplados de circulación general propuestos por la oficina meteorológica del centro Hadley para las ciencias y servicios del clima del Reino Unido (HadGEM2-ES) y el Instituto Pierre-Simon Laplace (IPSL-CM5A-LR), cuyas salidas para las variables bioclimáticas a resolución de 30 arc segundos, están disponibles en la página web del proyecto Worldclim (http://www.worldclim.org/cmip5_30s).

Orden de prioridad de las áreas de conservación
Los métodos de ordenamiento consisten en la comparación de objetos entre sí, mediante la valoración de uno o más atributos comunes que permitan determinar las posiciones relativas (órdenes) de dichos objetos, de manera que al comparar los órdenes entre sí es posible establecer prioridades. En este trabajo se priorizaron las áreas de conservación propuestas mediante el ordenamiento (ranking) de los siguientes criterios: 1) cambios proyectados en los regímenes hidrológicos de los casos de estudio (ver resultados, Figura 2), 2) cambios proyectados sobre las variables bioclimáticas (ver resultados, Figura 1), 3) la influencia humana y 4) áreas protegidas.

En el criterio de cambios proyectados en las variables bioclimáticas los atributos ordenados fueron: temperatura media anual, amplitud diaria de temperatura, precipitación media anual, precipitación del mes más húmedo y estacionalidad de la precipitación. El impacto esperado sobre cada atributo climático se estimó mediante la proyección de los cambios en las variables bioclimáticas, tomando el promedio

de los dos modelos climáticos usados en el modelaje hidrológico y calculando su diferencia a partir de los valores actuales de cada variable, siguiendo el escenario de ruta de emisión más pesimista (RCP 8.5) para el año 2070. La influencia humana fue estimada a partir del Índice de Influencia Humana (IIH) propuesto por la Wildlife Conservation Society - WCS and Center for International Earth Science Information Network - CIESIN - Columbia University (2005). Los atributos para las áreas protegidas fueron: número de áreas protegidas y extensión en área. La presencia y extensión de áreas protegidas fue obtenida a partir de lo publicado por IUCN y UNEP-WCMC (2016).

En primer lugar se realizó el ordenamiento de las áreas de conservación tomando en cuenta, por separado, los atributos asociados a cada criterio. El orden por criterio fue estimado como la sumatoria de los órdenes conseguidos entre los atributos por criterio. Finalmente la priorización se alcanzó mediante la sumatoria de los órdenes determinados por criterio, resultando los órdenes más bajos para aquellas áreas con menor prioridad de conservación.

RESULTADOS

Áreas de conservación de los ríos y zonas climáticas de Venezuela

La agrupación de las 16 áreas hidrográficas de la ley de aguas de Venezuela, las grandes cuencas, y las ecorregiones propuestas por Abell et al. (2008) resultó en siete grandes áreas de conservación propuestas aquí (Figura 1). Así surgieron regiones de gran extensión, con clima y biogeografía similar como las regiones norte y sur del Orinoco, como también pequeñas áreas de características únicas, restringidas en extensión por su especial clima y biogeografía, como la de los Andes-Serranía del Interior.

La agrupación de las características climáticas más relevantes sobre el territorio venezolano, reveló que pueden considerarse cuatro grandes zonas climáticas, dependiendo básicamente de la precipitación anual, la precipitación durante el mes más húmedo, la estacionalidad de la precipitación, la temperatura media anual y la amplitud diaria de temperatura (Figura 1). La zona al norte del Orinoco se reveló con la menor precipitación, tanto en el año como durante el mes más húmedo, con estacionalidad aunque menos marcada que hacia el sur del Orinoco, encontrándose un gradiente norte-sur de la precipitación. Por el contrario, la temperatura y su amplitud diaria no mostraron un gradiente norte-sur, sino que los mayores valores de temperatura y menores amplitudes diarias se ubican hacia los llanos bajos, el centro y oriente del país.

Al intentar la superposición de las áreas de conservación y las zonas climáticas se apreció que hay

áreas de conservación propuestas con mayor homogeneidad climática que otras, es decir, existen áreas de conservación propuestas que en su interior tienen pocas zonas climáticas con una amplia extensión. Por ejemplo, el área de conservación Maracaibo-Caribe tiende a ser homogénea hacia un clima seco con altas temperaturas mientras que las áreas Delta del Orinoco, Esequibo y Orinoco Norte-Llanos son las áreas más heterogéneas climáticamente, presentando tanto climas secos como húmedos en extensiones territoriales muy similares.

Modelos hidrológicos

En general los modelos hidrológicos explicaron bien la variabilidad temporal de la descarga de los ríos. La evaluación de los modelos por validación cruzada evidenció que estos son capaces de explicar, a partir de la precipitación y la temperatura mensual, entre un 80 y 95% la variabilidad en la descarga de los ríos estudiados. Así, la predicción de la descarga resultó confiable y mostró que los efectos del cambio climático serán diversos, que dependen principalmente del forzamiento radiativo de la atmósfera (dados por los escenarios RCP 2.6 como escenario optimista y RCP 8.5 como pesimista) y el año asumido para la simulación. Estos efectos implican cambios tanto en la cantidad de la descarga como en la estacionalidad de la misma. En términos generales, la descarga tendió a permanecer igual o disminuir, mientras que la estacionalidad tendió a permanecer igual o a acentuarse, ya fuera aumentando el intervalo entre descarga máxima y mínima o aumentando el período de tiempo de baja descarga (Figura 2).

Río Matícora: El río Matícora drena en la costa occidental del país. La descarga de este río fue bimodal y estacional, con un pequeño máximo alrededor de los meses de mayo y junio, y otro máximo bastante superior, alrededor del mes de octubre y noviembre. Esta estacionalidad bimodal obedeció principalmente al patrón temporal de las lluvias ($R^2= 0,87$), con un desplazamiento de casi un mes entre el máximo de la precipitación actual y el registro de esa lluvia efectiva como máximo de descarga. Así, el periodo de baja descarga del río Matícora duró los primeros siete a ocho meses del año. Además, la estimación de la lluvia transformada en caudal (lluvia efectiva o escorrentía) fue de apenas un 13% de la lluvia total precipitada. Las proyecciones del clima para la cuenca del río Matícora indican una disminución de la precipitación y un aumento de la temperatura, que se prevé sea más severo según el forzamiento radiativo (2,6 o 8,5 W/m²) de la atmósfera esperado para cada escenario de emisión (RCP). Se encontró que para un forzamiento medio

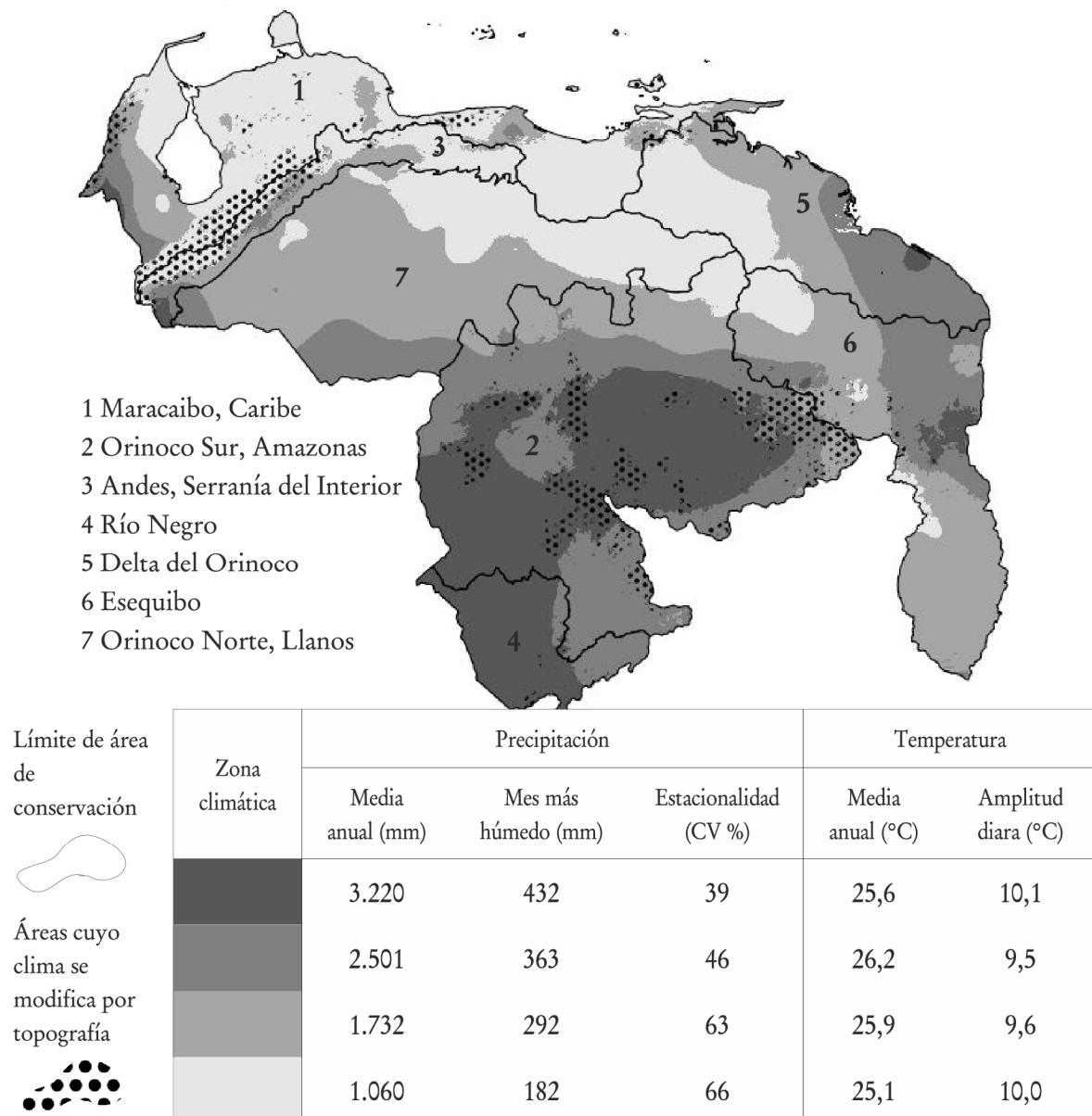


Figura 1. Zonas climáticas y áreas de conservación de ríos en Venezuela.

de $2,6 \text{ W/m}^2$, independientemente del año de la proyección, las descargas no resultaron alteradas notablemente, aunque sí aumentó la estacionalidad de las descargas, evidenciada por un aumento de la diferencia entre descargas mínimas y máximas. Con forzamiento radiativo mayor ($8,5 \text{ W/m}^2$) la descarga fue significativamente disminuida ($p<0.05$) de manera más pronunciada para el año 2070 y con una mayor estacionalidad.

Río Neverí: El río Neverí, análogo hidrológico oriental del río Matícora, mostró un comportamiento de descarga similar. Una descarga estacional (aunque no bimodal) con un período de baja descarga durante los

primeros siete a ocho meses del año. La descarga estuvo directamente relacionada con la precipitación ($R^2=0,80$), aunque con un retraso de casi un mes entre el máximo de la precipitación actual y su reflejo como máximo de descarga, mientras que la escorrentía fue de un 66% de la precipitación. Para el escenario más optimista (RCP 2.6), independientemente del año de la proyección, el efecto no fue estadísticamente significativo, aunque se observó un aumento del rango entre las descargas mínima y máxima. Por el contrario, para el escenario más pesimista (RCP 8.5), la descarga experimentó una disminución considerable durante el período de máxima descarga, disminución que aumentó al alcanzar el año 2070.

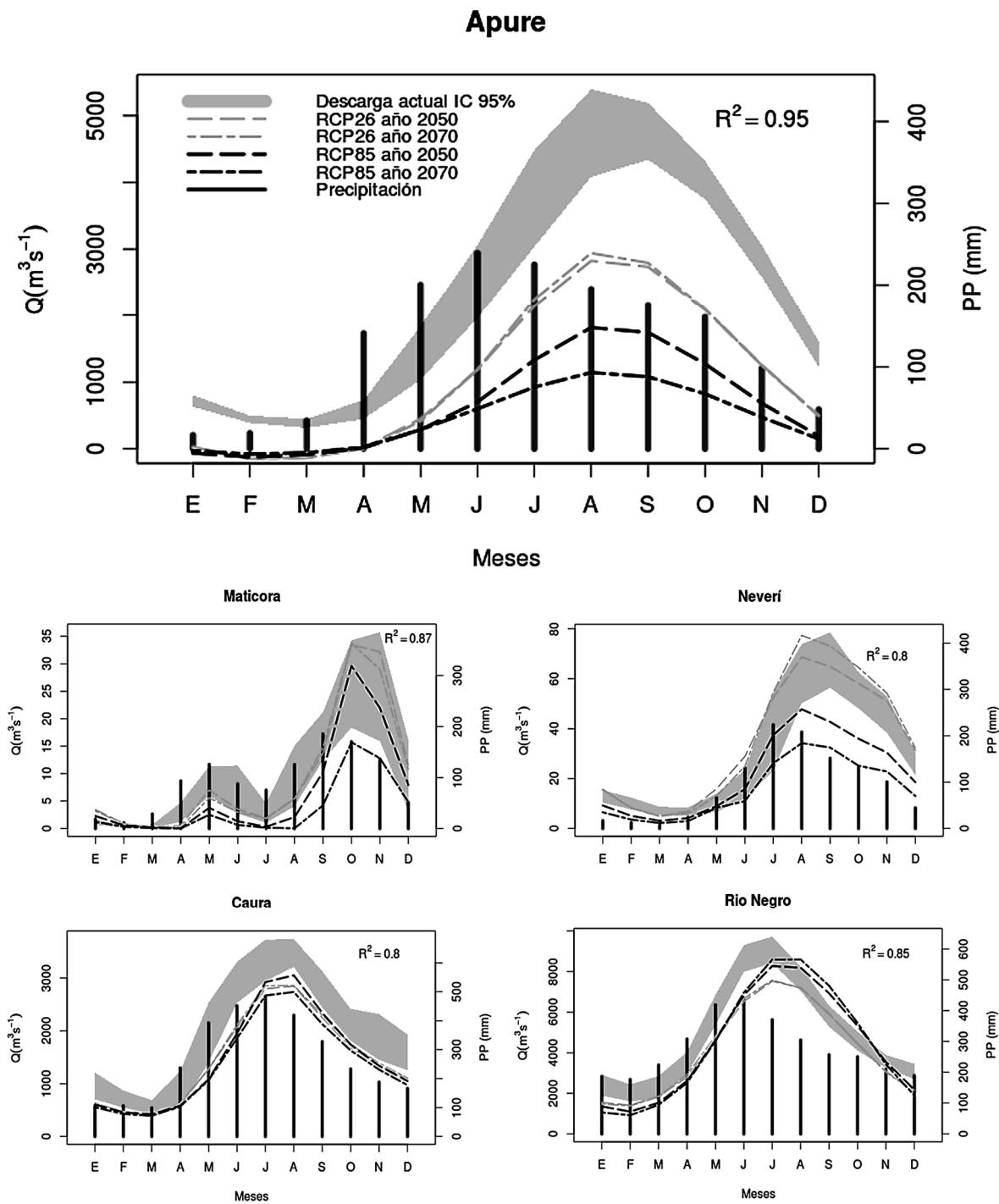


Figura 2. Hidrogramas de los ríos estudiados y su proyección a los años 2050 y 2070 siguiendo los escenarios de trayectoria de emisiones RCP 2.6 y RCP 8.5 bajo los modelos HadGEM2-ES y IPSL-CM5A-LR. Para detalles de las áreas tributarias ver la Tabla 3.

Río Apure: El río Apure atraviesa los llanos occidentales del país. Presentó también estacionalidad marcada y unimodal, con máximos de descarga desplazados un poco más hacia mediados del año en comparación con los ríos costeros analizados previamente. Se encontró además, que el desfase entre el

máximo de la precipitación actual y el máximo de la descarga es de unos dos meses, mayor que en los ríos de la costa, siendo la escorrentía un 38% de la precipitación. La proyección hacia el futuro mostró que independiente del escenario de emisiones la descarga se verá notablemente disminuida en el río

Apure, con mayor disminución en el escenario más pesimista (RCP 8.5) y hacia el año 2070.

Río Caura: Hacia el sur del país, el río Caura uno de los ríos más caudalosos en la cuenca del Orinoco. Este río presentó una abundante descarga durante todo el año en comparación con los ríos del norte del Orinoco. Esta descarga fue estacional, con un corto período de bajos caudales con una duración de unos cuatro a cinco meses y cuyo desfase de la precipitación máxima a la máxima descarga fue indetectable en la escala mensual. La escorrentía para este importante río alcanzó el 72% de la precipitación. La proyección con efecto del cambio climático indicó que independientemente del escenario y el año estudiado la descarga del Caura se verá ligeramente disminuida ($p<0,05$), sin que se note un efecto del cambio climático sobre la estacionalidad.

Río Negro: En el extremo sur del país, similar al río Caura, el río Negro presenta una elevada descarga durante todo el año, de variación estacional con un período de baja descarga de unos cuatro a cinco meses. El desfase de máxima precipitación a máxima descarga fue de un mes. La escorrentía estimada es la mayor de todos los ríos estudiados, alcanzando el 78% de la precipitación. Independientemente del escenario y año de proyección de cambio climático se observó una disminución en la descarga del período de bajos caudales, aumentando la diferencia entre la descarga mínima y máxima. Así mismo, la estación de baja descarga aumentó su período temporal en al menos un mes, indicando que si bien la descarga total no disminuirá en el futuro, su distribución a lo largo del año se verá afectada aumentando el período de baja descarga y el rango de descarga máximo y mínimo.

Orden de prioridad de las áreas de conservación
El área de conservación de mayor prioridad de conservación resultó el área de Orinoco Norte-Llanos seguida del Esequibo, mientras que la de menor prioridad fue la del Lago de Maracaibo-Caribe, independientemente de si se tomaron en cuenta o no las áreas protegidas (Tabla 2).

DISCUSIÓN

Áreas de conservación propuestas

Si bien existen diferentes clasificaciones climáticas para caracterizar el clima en Venezuela, como las de Köppen o Thornthwaite (Köppen 1936, Thornthwaite 1948, Belda et al. 2014), en la actualidad las clasificaciones basadas en algoritmos de clasificación han tenido gran potencial y son un campo en desarrollo con buenos resultados (e.g. Cannon 2012). To-

mando en cuenta que la clasificación climática puede realizarse de forma separada por cada variable climática o por la agregación de las mismas en clases, la ventaja de producir zonas climáticas por el método de agrupamiento es que permite incorporar más información a la formulación de las clases climáticas de manera que esta sea interpretable. Sin embargo, la incorporación de un gran número de variables ambientales hace que esta ventaja se pierda, limitando la interpretabilidad de la clasificación. Así mismo, las grandes clases climáticas tienen un uso limitado en las áreas geográficas cuyo clima es fuertemente modificado por la topografía. La clasificación alcanzada aquí logró disminuir el número de variables necesario y suficiente para alcanzar una zonificación climática de grandes áreas, comparables en tamaño con las áreas de las grandes cuencas del país y con las ecorregiones propuestas previamente en la literatura. De esta forma la zonificación alcanzada no difiere grandemente de las planteadas por los métodos de Köppen o Thornthwaite (PDVSA 1992), especialmente en lo referente al patrón espacial de temperatura y precipitación encontrado, con la ventaja de incorporar de manera más detallada la información referente a la variación diaria y estacional de la temperatura y la precipitación, respectivamente.

Existe diversidad de métodos y formas para clasificar las áreas hidrográficas importantes de una región. Aún los métodos basados en la cuenca como unidad hidrográfica, difieren y dependen de su interés de clasificación y el énfasis sobre los diferentes tipos de la información disponible para tal fin. Las áreas de conservación propuestas aquí son unidades biogeográfica e hidrológicamente homogéneas por basarse en las ecorregiones propuestas por Abell et al. 2008 y ser el resultado de la agregación de subcuenca. Sin embargo, la homogeneidad climática no pudo ser completamente conservada durante el proceso de agrupamiento de subcuenca, evidenciándose que un área hidrográfica y biogeográficamente homogénea puede albergar más de una zonificación climática (Figura 1). Si bien las áreas de conservación propuestas no difieren en gran medida de las ecorregiones, sino que más bien en algunos casos agrega a las mismas, las zonas climáticas contenidas en ellas podrían ser de utilidad a la hora de priorizar la atención de conservación sobre las mismas, ya sea por diversidad de zonas climáticas, como por la extensión espacial de las mismas en cada región de conservación.

Hidrología y cambio climático

Los ecosistemas fluviales más sensibles a sufrir impactos drásticos en su biodiversidad y funcionamiento

Tabla 2. Descripción de las áreas de conservación propuestas con su orden de prioridad preliminar según el impacto del clima (cambio de temperatura y precipitación para el RCP 8.5), la influencia humana (índice de influencia humana IIH propuesto por la Wildlife Conservation Society - WCS and Center for International Earth Science Information Network - CIESIN - Columbia University 2005) y las áreas protegidas (APs). T: temperatura. Pp: precipitación. * Número y superficie protegida en Venezuela + Guyana, respectivamente.

Áreas de conservación propuestas (km ²)	Nº	Área (km ²)	% cubierto por APs	IIH (media)	Orden del impacto del cambio de:		Orden de prioridad de conservación	
					T	Pp	con APs	sin APs
Andes, Serranía del Interior (47.612)	30	18.570	40	20,37	3	2	3	2
Delta del Orinoco (109.822)	7	36.152	33	11,98	2	6	5	4
Esequibo (160.083)	9+4 *	35.065 + 15.338 *	31	5,92	5	6	6	7
Maracaibo, Caribe (160.605)	72	40.911	25	21,28	1	1	1	1
Orinoco Norte, Llanos (213.710)	16	20.963	10	14,03	6	2	7	6
Orinoco Sur, Amazonas (320.686)	26	285.462	89	3,61	4	5	2	2
Río Negro (58.522)	5	33.958	58	1,84	7	4	4	4

to debido al cambio climático, son aquellos cuya integridad ecológica ha sido comprometida (y por ende con resiliencia disminuida) por alteraciones de origen antrópico, tales como modificación de los regímenes hidrológicos por la construcción de represas, transformación de sus cauces y planicies inundables o una alta extracción de agua (Allan et al. 2005, Palmer et al. 2008). Esta pérdida de resiliencia de los ecosistemas fluviales transformados, especialmente aquellos impactados por represas, requerirá la toma de medidas de manejo adecuado para aumentar la capacidad natural de los ríos y sus cuencas con el fin de amortiguar y minimizar los efectos negativos del cambio climático (Poff et al. 2002, Palmer et al. 2008). Este es el caso de la cuenca del río Apure, en donde la presencia de una serie de represas y sistemas de regulación de la dinámica estacional de inundación de los cursos de agua ha ocasionado importantes cambios a nivel ecosistémico (Winemiller et al. 1996, Novoa 2002, Machado-Allison 2005, Montoya et al. 2017).

El drenaje controlado y el desvío de cursos de agua desde grandes extensiones de tierra sujetas a inundación con el propósito de satisfacer las necesidades de agua para consumo humano y actividades agrícolas asociadas a un aumento de la población, afectarán aún más las condiciones desfavorables de estos ecosis-

temas bajo los escenarios futuros de cambio climático para la región. Estas afectaciones, considerando a las planicies inundables como sistemas socioecológicos, tendrán un impacto sobre su capacidad de provisión de bienes y servicios a la sociedad, incluyendo la disminución o extirpación de poblaciones de especies con interés pesquero, la disminución del acceso al agua en centro urbanos, transculturación, aculturación, entre otras (Montoya et al. 2011). Si bien los efectores indirectos, tales como cambios socioeconómicos y uso de la tierra, no fueron incluidos en este análisis, la evidencia encontrada en este trabajo muestra que la hidrología, específicamente la descarga de los ríos, se verá afectada en el futuro como producto de la sequía meteorológica en balance con un probable aumento de la evapotranspiración en aquellos lugares donde se espera un mayor incremento de la temperatura del aire.

Esta afectación además, dependerá directamente del área geográfica donde se ubique el río e indirectamente de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera como principal modificador del sistema climático, de la lluvia y la temperatura de la atmósfera. En términos generales lo aquí encontrado concuerda con los impactos descritos a escala global, en lo que se refiere a la alteración del

flujo por cambios de precipitación, alteración del régimen térmico y en caso de los ríos costeros el impacto por incremento del nivel del mar (IPCC 2014, van Vliet et al. 2016).

Descarga de los ríos y cambio climático

Aunque se cuenta con el registro de los caudales de importantes ríos en diferentes períodos de tiempo, pocas son las evaluaciones hechas al respecto hasta el momento en Venezuela. Cressa et al. (1993) y Silva León (2005) informan para el río Apure una descarga media de unos 2.000-2.400 m³/s con una escorrentía de 37%, mientras que para el Caura la descarga es de unos 2.700-2.900 m³/s con una escorrentía de 61%, ambos casos en similitud a lo aquí encontrado (Tabla 3). Estos autores señalan además, que la escorrentía es el reflejo no solo de la precipitación, sino también de la topografía, los suelos, la vegetación como principal modulador de la evapotranspiración e inclusive la presencia de embalses y represas. Si bien algunos ríos aquí estudiados (Mártica y Neverí) no incluyen la modificación de la descarga introducida por la construcción de embalses (que fue posterior a los registros analizados, Tabla 3), los resultados del modelamiento y proyección a futuro de dicha descarga representan indicadores confiables del efecto del cambio climático.

Es muy poca la información disponible sobre los efectos del cambio climático en la descarga de los ríos en América del Sur. En el caso de Venezuela los ríos Mártica y Neverí fueron previamente evaluados (Bracho 2005) y aunque la evaluación fue hecha bajo escenarios, modelos climáticos y metodologías diferentes, los resultados de Bracho (2005) que indican mayor cambio en la descarga del río Mártica con respecto al río Neverí, coinciden con lo que se infor-

ma en el presente trabajo. La disminución de las descargas en los ríos Apure, Mártica, Neverí y Caura encontrada en este trabajo también coincide con los efectos del cambio climático proyectados en otros lugares del mundo (Milly et al. 2005, Verdonschot et al. 2010, Aldous et al. 2011, Felipe et al. 2013, Jiménez-Rodríguez et al. 2015), en especial en zonas áridas y semiáridas donde se espera una reducción del período húmedo (Klausmeyer y Shaw 2009).

Trabajos previos han relacionado una disminución de la descarga de los ríos con eventos El Niño-Oscilación del sur y se ha observado un aumento en la diferencia entre la descarga mínima y máxima como la encontrada en este trabajo; esto puede ser observado como un registro típico de situaciones de sequía meteorológica ocurrida durante los eventos Niño en el norte de América del sur, como en el caso del río Caura (Castillo et al. 2004, Paolini et al. 2012). Aunque la resolución temporal de los datos usados en este trabajo no permite un análisis detallado de los eventos extremos de la precipitación, las evidencias para América del sur indican que el aumento en la intensidad de las lluvias así como el acortamiento de la estación de mayor descarga, junto a su desplazamiento temporal, tendrán consecuencias importantes en la frecuencia de las inundaciones y de las sequías extremas, como ya se ha registrado para el río Amazonas (Marengo et al. 2012).

Temperatura y oxígeno de los ríos

El análisis del efecto del cambio climático sobre los ríos de Venezuela quedaría incompleto si no se incluyera la variable temperatura. El aumento de la temperatura de los ríos ha sido ampliamente registrado en la última década (Arismendi et al. 2012). Sin embargo, la poca disponibilidad de datos de tempe-

Tabla 3. Características de las cuencas de los casos de estudio. 1 Excluyendo la cuenca del río Guárico, siguiendo a Silva León 2005. *Área de la cuenca de Río Negro dentro de los límites de Venezuela.

Río	Grandes cuencas	Área (km ²)	Área tributaria en km ² (estación de trabajo)	Período de los datos usados	Escorrentía (%)
Apure	Orinoco	167.000	113.000 ¹ (San Fernando de Apure)	1966-1983	38
Caura	Orinoco	48.025	26.000 (Dos Aguas)	1981-1990	72
Mártica	Caribe	2.360	2.100 (Don Pancho)	1961-1976	13
Neverí	Caribe	4.271	1.269 (Botalón)	1962-1977	66
Río Negro	Amazonas	58.522 *	58.522 (Río Negro)	1971-1992	78

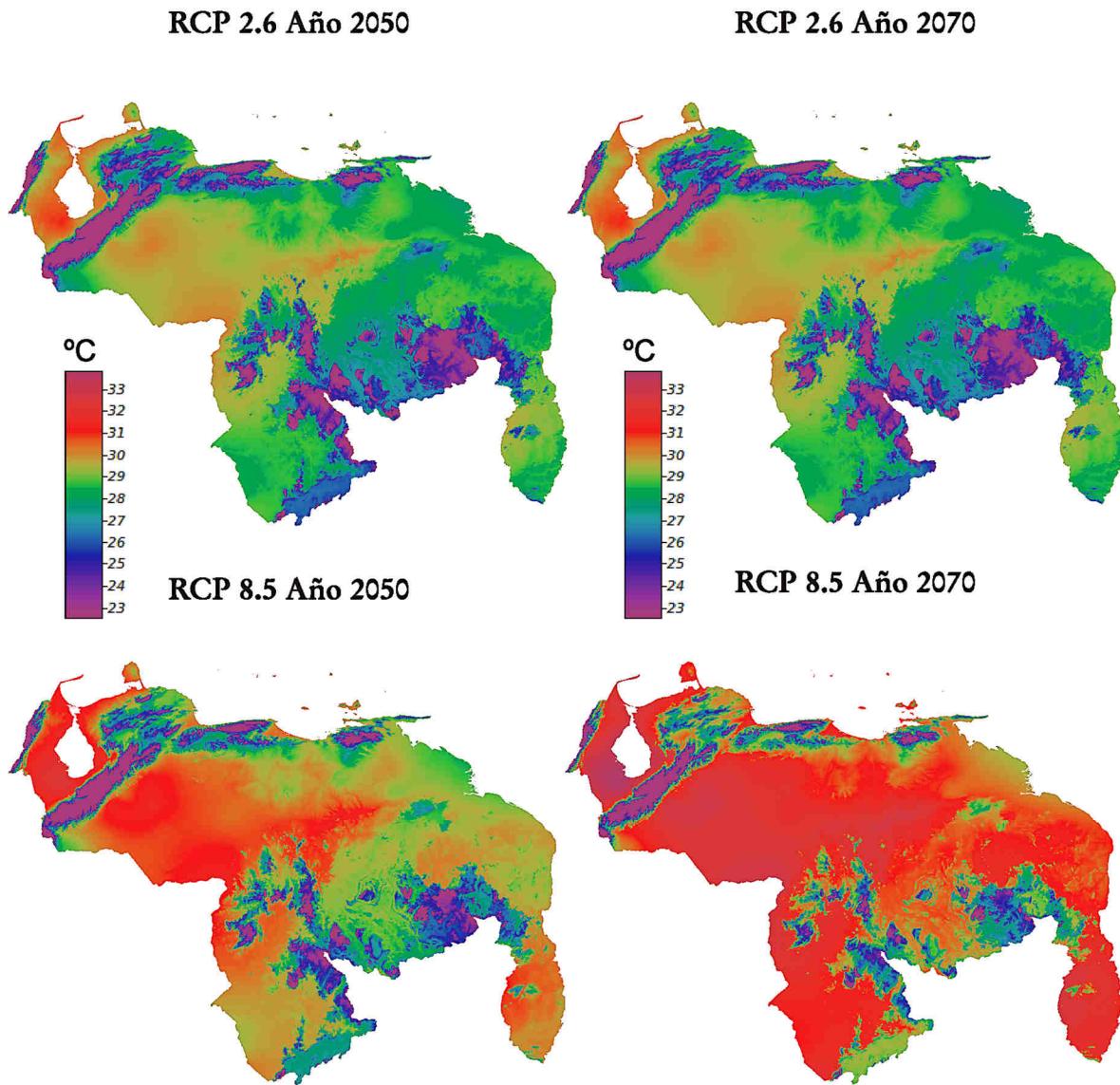


Figura 3. Temperatura (°C) esperada (años 2050 y 2070) según los escenarios de trayectoria de emisiones RCP 2.6 y RCP 8.5 (promedio de los modelos HadGEM2-ES y IPSL-CM5A-LR).

ratura de ríos para el país hizo imposible el análisis del efecto de la temperatura del agua, por lo que se recobrará su discusión basados en la relación existente entre la temperatura superficial del aire y la temperatura del agua de los ríos (Benyahya et al. 2007). La temperatura del aire aumentará de forma heterogénea sobre el territorio nacional (Figura 3), por lo que se puede esperar que la temperatura de los ríos también cambie de manera espacialmente desigual y siguiendo el patrón del aumento de la temperatura del aire. Diversos modelos intentan estimar el cambio de la temperatura del agua de los ríos partiendo de la temperatura de aire, pudiendo estos ser divididos en

modelos determinísticos o estocásticos. Aunque es poca la evidencia para las áreas tropicales, una pequeña revisión de los trabajos disponibles permite decir que a nivel global y en términos generales puede esperarse un aumento de 0,8 a 1 grado Celsius en la temperatura del agua del río, respecto a cada grado de aumento en la temperatura del aire (Morrill et al 2005, Ahmadi-Nedushan et al. 2007). Independiente del año de proyección y del escenario de cambio climático las áreas con mayor afectación serán las del sur del lago de Maracaibo, la península de Paraguaná y sus cercanías, como también los llanos occidentales. El cambio climático pudiera alterar la cantidad de oxígeno en los

ríos tanto por intercambio atmosférico como por cambios en el metabolismo fluvial. Debido a que la concentración de oxígeno disuelto en el agua es inversamente proporcional a la temperatura y que las tasas de respiración son mayores a temperaturas más calientes, bajo escenarios de calentamiento global se esperaría una disminución en las concentraciones de oxígeno en estos cuerpos de agua (Kernan et al. 2010). Si a esto se añaden otros factores como la deforestación de bosques ribereños (que aumenta la insolación), mayores cantidades de sólidos totales a causa de intensificación de la erosión (aumento en la capacidad de absorber calor y disminución de la transparencia y capacidad fotosintética) y una mayor concentración de nutrientes debido a procesos de eutrofización (mayores tasas de respiración) se potenciarán mucho más los efectos de la temperatura sobre el oxígeno disuelto del agua (Whitehead et al. 2009).

Biología y ecología de los ríos bajo cambio climático

Los cambios en la precipitación y temperatura, junto a su consiguiente cambio en la hidrología de los ríos, tienen repercusiones en la biología y ecología de los sistemas dulceacuícolas. La disminución de la descarga se asocia a una disminución de la velocidad del río, y a un cambio en la afectación de las áreas de inundación que serán de menor extensión o de más corta duración (Kernan et al. 2010) así como a una disminución en la calidad del agua, ya sea por disminución en el oxígeno disuelto o por cambios en la relación de compuestos orgánicos a inorgánicos (Dahm et al. 2003, Kernan et al. 2010). La disminución de la descarga también está asociada a cambios en la temperatura del agua, dado que por disminución del flujo el río intercambia calor de forma diferente con su entorno, lo que provoca una retroalimentación entre la descarga y el régimen térmico de los ríos (Benyahya et al. 2007). Los efectos sobre la biota de esta miríada de cambios en los ríos son también diversos y van desde cambios en la biología reproductiva de la fauna, hasta el cambio en la disponibilidad de los bancos de semillas (Jenkins y Boulton 2007). Así mismo, los cambios en el régimen de inundación conllevan a la pérdida de refugios para la fauna, especialmente los peces y pequeños crustáceos, como también para las especies terrestres asociadas a los ríos como las aves y depredadores de la fauna y flora ribereña (Sheldon et al. 2010). De igual manera, cambios en la temperatura de los ríos conducirán a modificaciones de la distribución y composición de las comunidades de invertebrados, como también en la reproducción de los peces y sus patrones de distribución, lo que implicará cambios en la red trófica, especialmente en las cabeceras

de los ríos donde existe mayor vulnerabilidad al calentamiento (Jenkins y Boulton 2007, Ormerod 2009, Comte y Grenouillet 2013, Comte et al. 2013). El cambio de la temperatura además, será de gran impacto sobre las especies tropicales, en especial las de tierras calientes como la del sur del Lago de Maracaibo y los llanos occidentales, pues estas se aproximan a su temperatura máxima crítica más rápidamente que los organismos de tierras templadas o de alta montaña (Laurance et al. 2011). Aunado a esto, estas modificaciones producen un efecto cascada debido a la alteración hidrodinámica en retroalimentación con la temperatura de los ríos, que resulta en alteraciones de funciones y propiedades ecosistémicas como el flujo de energía y la diversidad (Ledger et al. 2013).

Muchas especies de peces poseen adaptaciones respiratorias que les permiten la supervivencia en aguas esencialmente sin oxígeno (Poff et al. 2001, Machado-Allison 2005), sin embargo muchas otras no, pudiendo ser afectadas negativamente o perecer por hipoxia durante la sequía. Los cambios climáticos que eliminan los refugios (o el acceso a estos) durante el período de sequía para las especies intolerantes a la hipoxia pueden producir extirpaciones de sus poblaciones a nivel local (ver, por ejemplo, Rodríguez-Olarte et al. 2017). La modificación de los regímenes hidrológicos como consecuencia directa o indirecta del cambio climático muy probablemente impactará sobre la conectividad entre hábitats dentro de los sistemas fluviales (Poff et al. 2001, 2012), poniendo en riesgo el acceso oportuno hacia los refugios, no sólo para escapar de las condiciones adversas sino para completar el ciclo de vida de muchas especies migratorias.

Los eventos extremos de lluvia también implican mayor arrastre de sedimentos, lo que conduce a cambios en la química y color del agua, probablemente a la disminución de la abundancia del fitoplancton y las algas del lecho de los ríos (Karlsson et al. 2009). Los flujos y hábitats de los ríos se contraerán o expandirán dependiendo del caso. Aunque muchos peces en ríos tropicales tienen adaptaciones para contrarrestar los efectos deletéreos de altas temperaturas, bajas concentraciones de oxígeno y desecación, aún esas capacidades pudieran ser excedidas si la intensidad y la duración de las condiciones desfavorables (desecación, calentamiento excesivo del agua, etc.) es extensiva (Poff et al. 2001, Ficke et al. 2007). En fin, los cambios en los regímenes hidrológicos de los ríos, observables a través de la variación de la frecuencia, duración, magnitud, y la variabilidad de los pulsos de inundación y caudales a diferentes escalas temporales, afectarán de manera importante no sólo las pobla-

ciones y comunidades de organismos, sino que tendrán un impacto importante sobre las funciones ecosistémicas y por ende sobre los servicios y bienes que son provistos a la sociedad (Ficke et al. 2007, Hamilton 2010, Montoya et al. 2011, IPCC 2014).

Consideraciones sobre la prioridad de las áreas de conservación

La persistencia en el tiempo de los ecosistemas fluviales en Venezuela, de la cultura de los habitantes que dependen de ellos y de su inmensa riqueza, requiere un compromiso de todos los actores, que pasa por alcanzar un entendimiento de cómo funcionan estos sistemas y cómo van a cambiar en el tiempo. Aunque la determinación de prioridad sobre un área de conservación debe ser multidimensional, transdisciplinaria, multiescalar e incluyente de todos los actores sobre el territorio, y la priorización de cualquier territorio estaría incompleta sin estos aspectos, este espacio es una oportunidad para presentar una perspectiva que a nuestro juicio debería incluirse en la determinación de áreas prioritarias de conservación de los ríos de Venezuela, desde las ciencias de cambio climático. En la Tabla 2, junto a la descripción de las áreas de conservación propuestas aquí, se presenta el orden de impacto de las variables temperatura y precipitación, así como el índice de influencia humana y la priorización preliminar de las áreas de conservación tomando en cuenta las áreas protegidas existentes en cada una.

Para enfrentar efectivamente los importantes impactos del cambio climático sobre los ríos de Venezuela que están previstos para este siglo es necesaria la proposición de estrategias de manejo y conservación de áreas que comiencen por la identificación y priorización de los sistemas socioecológicos más susceptibles al cambio climático, incluyendo predicciones de cambios en los regímenes hidrológicos y temperatura a nivel de grandes cuencas y subcuencas, sin dejar de lado variables sociales que permitirán alcanzar diagnósticos más ajustados a las necesidades de la sociedad. Es muy importante tener en cuenta que los ecosistemas más susceptibles a cambios abruptos son aquellos con baja resiliencia o aquellos que la hayan perdido debido a una mayor intervención humana, para así poder dirigir los esfuerzos de manejo sustentable hacia el mantenimiento o aumento de los niveles de resiliencia de estos sistemas (Scheffer et al. 2001, Palmer et al. 2008).

El método usado aquí implica que cada componente que interviene en la determinación de la prioridad de conservación tiene el mismo peso, lo cual es una ventaja cuando se tiene información de baja resolución como la que tenemos aquí, pero una des-

ventaja cuando se requiere dar énfasis a alguno de los aspectos incluidos en la determinación de la prioridad de atención. Así la región del Orinoco-Llanos resultó de prioridad debido principalmente al gran cambio de la temperatura anual que sufrirá en el futuro, mientras que el Esequibo se verá más afectado por cambios en la precipitación, y ambas áreas resultaron las de menor superficie bajo figuras de protección. Si bien gran parte del territorio del área de conservación del Esequibo se encuentra ahora en discusión entre la República Bolivariana de Venezuela y la República Cooperativa de Guyana, la hemos incluido por ser un área que aún bajo la administración guyanesa, y conservada en términos de cobertura vegetal, presenta planes de explotación minera de diversa naturaleza, con una baja cobertura de áreas bajo protección (apenas un 10% para el occidente del río Esequibo). Con respecto al área de conservación de Maracaibo-Caribe, aunque tiene una baja prioridad de conservación según la metodología empleada, eso no significa que no se verá fuertemente afectada, sino que su afectación es la más baja en relación a las demás áreas de conservación. Sin embargo, y para tener mejor idea de los cambios esperados, los modelos estiman que de prestarse el escenario RCP 8.5 al año 2070 para el área de Maracaibo-Caribe, se produciría un aumento de temperatura media anual de poco más de 4 grados Celsius y una disminución de la precipitación anual de más de 220 mm. Así, cada área de conservación presenta vulnerabilidades únicas que no han podido ser incluidas en un análisis general como este y que deberían ser profundizadas en trabajos más específicos. Por ejemplo, para el área de los Andes-Serranía del Interior, la característica de sus ríos y ambientes de montaña, implica una vulnerabilidad adicional y para la región oriental del área de conservación del Delta del Orinoco, el incremento del nivel del mar implica impactos adicionales sobre los sistemas de caños, canales, transporte de sedimentos, estacionalidad de la inundación y salinidad (Syvitski et al. 2009, Nicholls y Cazenave 2010).

Para concluir, se observó que el cambio climático en curso tendrá efectos diversos, de diferente índole (física, química y biológica) y escalas. Los organismos afectados van desde el fitoplancton, pasando por los invertebrados, hasta grandes vertebrados acuáticos y terrestres asociados al hábitat del río. También los procesos y funciones ecosistémicas, como las redes tróficas y flujos de energía, se verán afectados. Estos efectos no se distribuyen homogéneamente en el espacio, por tanto la priorización de áreas de conservación, aunque preliminar, indicó como prioridad de atención al área de los llanos occidentales, por los impactos que podría tener los cambios de tempe-

ratura, y la del Esequibo por los cambios en la precipitación. Si bien este trabajo presenta importantes aportes al área del conocimiento de la vulnerabilidad de los ecosistemas de ríos, se hace necesaria mayor investigación en el área, que profundice en las características particulares de cada región y basada sobre una mayor disponibilidad de datos de mejor resolución y detalle temporal y espacial.

BIBLIOGRAFÍA

- Abell, R., Thieme, M. L., Revenga, C., Bryer, M., Kottelat, M., Bogutskaya, N., Coad, B., Mandrak, N., Balderas, S.C., Bussing, W., Stiassny, M. L. J., Skelton, P., Allen, G. R., Unmack, P., Naseka, A., Ng, R., Sindorf, N., Robertson, J., Armijo, E., Higgins, J. V., Heibel, T. J., Wikramanayake, E., Olson, D., Lopez, H. L., Reis, R. E., Lundberg, J. G., Perez, M. H. S. y Petry, P. 2008. Freshwater ecoregions of the world: A new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *Bioscience*. 58:403-414.
- Ahmadi-Nedushan, B., St-Hilaire, A., Ouarda, T. B. M. J., Bilodeau, L., Robichaud, É., Thiémonge, N. y Bobée, B. 2007. Predicting river water temperatures using stochastic models: case study of the Moisie River (Québec, Canada). *Hydrological Processes*. 21:21-34.
- Aldous, A., Fitzsimons, J., Richter, B. y Bach, L. 2011. Droughts, floods and freshwater ecosystems: Evaluating climate change impacts and developing adaptation strategies. *Marine and Freshwater Research*. 62:223-231.
- Allan, J. D. y Castillo M. M. 2007. *Stream Ecology. Structure and Function of Running Waters*. Dordrecht: Springer.
- Andrews, F. y Guillaume J. 2015. *Hydromad: Hydrological Model Assessment and Development*. R package version 0.9-22. (<http://hydromad.catchment.org/>). Versión electrónica accedida 17-01-2015.
- Arismendi, I., Johnson, S. L., Dunham, J. B., Haggerty, R. y Hockman-Wert, D. 2012. The paradox of cooling streams in a warming world: Regional climate trends do not parallel variable local trends in stream temperature in the Pacific continental United States. *Geophysical Research Letters*. 39:1-7.
- Belda, M., Holtanová, E., Halenka, T. y Kalvová, J. 2014. Climate classification revisited: from Köppen to Trewartha. *Climate Research*. 59:1-13.
- Bracho H. 2005. *Primera comunicación nacional en cambio climático de Venezuela*. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales MARN. Caracas, Venezuela.
- Cannon, A. J. 2012. Köppen versus the computer: comparing Köppen-Geiger and multivariate regression tree climate classifications in terms of climate homogeneity. *Hydrology and Earth System Sciences*. 16:217-229.
- Castello, L. y Macedo, M. N. 2015. Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. *Global Change Biology*. doi: 10.1111/gcb.13173.
- Castillo, M. M., Allan, J. D., Sinsabaugh, R. L. y Kling, G. W. 2004. Seasonal and interannual variation of bacterial production in lowland rivers of the Orinoco basin. *Freshwater Biology*. 49:1400-1414.
- Comte, L. y Grenouillet, G. 2013. Do stream fish track climate change? Assessing distribution shifts in recent decades. *Ecography*. 36:1236-1246.
- Comte, L., Buisson, L., Daufresne, M. y Grenouillet, G. 2013. Climate-induced changes in the distribution of freshwater fish: Observed and predicted trends. *Freshwater Biology*. 58:625-639.
- Cressa, C., Vásquez, E., Zoppi, E., Rincón, J. E. y López, C. 1993. Aspectos generales de la limnología en Venezuela. *Interciencia*. 18:237-248.
- Dahm, C. N., Baker, M. A., Moore, D. I. y Thibault, J. R. 2003. Coupled biogeochemical and hydrological responses of streams and rivers to drought. *Freshwater Biology*. 48:1219-1231.
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z. I., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A.-H., Soto, D., Stiassny, M. L. J. y Sullivan, C. A. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*. 81:163-82.
- Ficke, A. D., Myrick, C. A. y Hansen, L. J. 2007. Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 17: 581-613.
- Filipe, A. F., Lawrence, J. E. y Bonada, N. 2013. Vulnerability of stream biota to climate change in mediterranean climate regions: A synthesis of ecological responses and conservation challenges. *Hydrobiologia*. 719:331-351.
- Hamilton, S. K. 2010. Biogeochemical implications of climate change for tropical rivers and floodplains. *Hydrobiologia*. 657:19-35.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. y Jarvis, A. 2005. Very High Resolution Interpolated Climate Surfaces for Global Land Areas. *International Journal of Climatology*. 25:1965-1978.
- IPCC. 2012. Summary for Policymakers. (pp. 1-19). En: Field, C. B., V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, G.-K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor, and P. M. Midgley (Eds.). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, y New York, Estados Unidos.
- IPCC. 2014. Summary for Policymakers. (pp. 1-32). En: Field, C. B., Barros, V. R., Dokken, D. J., Mach, K. J., Mastrandrea, M. D., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L., Estrada, Y. O., Genova, R. C., Girma, B., Kissel, E. S., Levy, A. N., MacCracken, S., Mastrandrea, P. R., and White, L. L. (Eds.). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, y New York, Estados Unidos.
- IUCN y UNEP-WCMC. 2016. The World Database on Protected Areas (WDPA). (www.protectedplanet.net). Versión electrónica accedida en 25/01/2015.
- Jenkins, K. M. y Boulton, A. J. 2007. Detecting impacts and setting restoration targets in arid-zone rivers: aquatic micro-invertebrate responses to reduced floodplain inundation. *Journal of Applied Ecology*. 44:823-832.

- Jiménez-Rodríguez, C. D., Calvo-Alvarado, J. C. y Jackson, J. K. 2015. Performance of Two Hydrological Models in Predicting Daily Flow under a Climate Change Scenario for Mountainous Catchments in North-western Costa Rica. *Mountain Research and Development.* 35:240-253.
- Karlsson, J., Byström, P., Ask, J., Ask, P., Persson, L. y Jansson, M. 2009. Light limitation of nutrient-poor lake ecosystems. *Nature.* 460:506-509.
- Kernan, M. R., Battarbee, R. W. y Moss, B. (Eds.). 2010. *Climate change impacts on freshwater ecosystems.* Oxford. Wiley Online Library.
- Klausmeyer, K. R. y Shaw, M. R. 2009. Climate change, habitat loss, protected areas and the climate adaptation potential of species in mediterranean ecosystems worldwide. *PloS one.* 4:e6392. doi:10.1371/journal.pone.0006392.
- Köppen, W. 1936. Das geographische System der Klimate. *Handbuch der Klimatologie.* 7-30.
- Laurance, W. F., Carolina Useche, D., Shoo, L. P., Herzog, S. K., Kessler, M., Escobar, F., Brehm, G., Axmacher, J. C., Chen, I. C., Gámez, L. A., Hietz, P., Fiedler, K., Pyrcz, T., Wolf, J., Merkord, C. L., Cardelus, C., Marshall, A. R., Ah-Peng, C., Aplet, G. H., del Coro Arizmendi, M., Baker, W. J., Barone, J., Brühl, C. A., Bussmann, R. W., Cicuzza, D., Eilu, G., Favila, M. E., Hemp, A., Hemp, C., Homeier, J., Hurtado, J., Jankowski, J., Kattán, G., Kluge, J., Krömer, T., Lees, D.C., Lehnert, M., Longino, J. T., Lovett, J., Martin, P. H., Patterson, B. D., Pearson, R. G., Peh, K. S. H., Richardson, B., Richardson, M., Samways, M. J., Senbeta, F., Smith, T. B., Utteridge, T. M. A., Watkins, J. E., Wilson, R., Williams, S. E. y Thomas, C. D. 2011. Global warming, elevational ranges and the vulnerability of tropical biota. *Biological Conservation.* 144:548-557.
- Ledger, M. E., Brown, L. E., Edwards, F. K., Milner, A. M. y Woodward, G. 2012a. Drought alters the structure and functioning of complex food webs. *Nature Climate Change.* 3:223-227.
- Machado-Allison, A. 2005. *Los peces de los llanos de Venezuela. Un ensayo sobre su historia natural.* Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Marengo, J., Tomasella, J., Soares, W., Alves, L. y Nobre, C. 2012. Extreme climatic events in the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology.* 107:73-85.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis.* Washington DC: Island Press. doi:10.1196/annals.1439.003.
- Milly, P. C. D., Dunne, K. A. y Vecchia, A. V. 2005. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature.* 438:347-350.
- Montoya, J. V., Osío, A., Pérez, M. C. y Pineda V. 2017. Los ríos de los llanos de Apure. Capítulo 4. (pp: 75-107). En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.). *Ríos en riesgo de Venezuela. Vol. I.* Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Montoya, J. V., Castillo, M. M. y Sánchez, L. 2011. La importancia de las inundaciones periódicas para el funcionamiento y conservación de los ecosistemas inundables de grandes ríos tropicales: Estudios en la cuenca del Orinoco. *Interciencia.* 36: 900-907.
- Morrill, J. C., Bales, R. C. y Conklin, M. H. 2005. Estimating stream temperature from air temperature: Implications for future water quality. *Journal of Environmental Engineering-Asce.* 131:139-146.
- Nicholls, R. J. y Cazenave, A. 2010. Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science* 328:1517-1520.
- Ormerod, S. J. 2009. Climate change, river conservation and the adaptation challenge. *Marine and Freshwater Ecosystems.* 19:554-565.
- Paolini, J., Felipe, J. J., Sureda, B. y Rosales, J. 2012. Influencia del fenómeno El Niño - La Niña / Oscilación Sur (ENOS) y de la temperatura del Atlántico norte en los caudales del Río Caura, Guayana Venezolana. *Revista de Climatología.* 12:23-32.
- PDVSA. 1992. *Imagen de Venezuela. Una visión espacial.* PDVSA-Instituto de Ingeniería. Caracas, Venezuela.
- Poff, N. L., Angermeier, P., Cooper, S., Lake, P., Fausch, P., Winemiller, K. O., Mertes, L., Oswood, M., Reynolds, J. y Rahel, F. 2001. Fish diversity in streams and rivers. (pp. 315-349). En: Chapin, T., Sala, O. E. y Huber-Sannwald, E. (Eds.). *Global Biodiversity in a Changing Environment. Scenarios for the XXI Century.* Springer-Verlag. New York: Estados Unidos.
- Poff, N. L., Olden, J. D. y Strayer, D. L. 2012. Climate Change and Freshwater Fauna Extinction Risk. (pp. 309-336). En: Hannah, L. (Ed.). *Saving a million species. Extinction Risk from Climate Change.* Washington, D.C. Island Press.
- R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (<http://www.R-project.org/>). Versión electrónica accedida 07/01/2015.
- Rodríguez-Olarte, D., Barrios, M., Marrero, C. y Marcó. L. M. 2017. Río Turbio: un síndrome urbano en la vertiente andina del Orinoco. Capítulo 3. (pp: 59-74). En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.). *Ríos en riesgo de Venezuela. Vol. I.* Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J. A., Folke, C. y Walker, B. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature.* 413: 591-596.
- Sheldon, F., Bunn, S. E., Hughes, J. M., Arthington, A. H., Balcombe, S. R. y Fellows, C. S. 2010. Ecological roles and threats to aquatic refugia in arid landscapes: Dryland river waterholes. *Marine and Freshwater Research.* 61:885-895.
- Silva León, G. 2005. La cuenca del río Orinoco: Visión hidrográfica y balance hídrico. *Revista Geográfica Venezolana.* 46:75-108.
- Strayer, D. L. y Dudgeon, D. 2010. Freshwater biodiversity conservation: recent progress and future challenges. *Journal of the North American Benthological Society.* 29:344-358.
- Syvitski, J. P. M., Kettner, A. J., Overeem, I., Hutton, E. W. H., Hannon, M. T., Brakenridge, G. R., Day Jr, J. W., Vörösmarty, C., Saito, Y., Giosan, L. y Nicholls, R. J. 2009. Sinking deltas due to human activities. *Nature*

- Geoscience.* 2:681-686.
- Thorntwaite, C. W. 1948. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review.* 38:55-94.
- van Vliet, M. T. H., Ludwig, F., Zwolsman, J. J. G., Weedon, G. P. y Kabat, P. 2011. Global river temperatures and sensitivity to atmospheric warming and changes in river flow. *Water Resources Research.* 47:W02544.
- van Vliet, M. T. H., Wiberg, D., Leduc, S. y Riahi, K. 2016. Power-generation system vulnerability and adaptation to changes in climate and water resources. *Nature Climate Change.* doi:10.1038/nclimate2903.
- Vorosmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S. E., Sullivan, C. A., Liermann, C. R. y Davies, P. M. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature.* 467:555-561.
- Wildlife Conservation Society - WCS, y Center for International Earth Science Information Network - CIESIN - Columbia University. 2005. *Last of the Wild Project, Version 2, 2005 (LWP-2): Last of the Wild Dataset (IGHP).* Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <http://dx.doi.org/10.7927/H4ZC80-SS>. Versión electrónica accedida 23/04/2015.
- Whitehead, P. G., Wilby, R. L., Battarbee, R. W., Kernan, M., Wade, A. J., 2009. A review of the potential impacts of climate change on surface water quality A review of the potential impacts of climate change on surface water quality. *Hydrological Sciences Journal.* 54:101-123.
- Woodward, G., Perkins, D. M. y Brown, L. E. 2010. Climate change and organization. Philosophical Transactions of the freshwater ecosystems: impacts across multiple levels. *Royal Society B.* 365:2093-2106.

La conservación de ambientes acuáticos: petróleo y otras actividades mineras en Venezuela

Antonio MACHADO-ALLISON

Instituto de Zoología y Ecología Tropical, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Apto correos 49078, Caracas 1041-A. antonio.machado@ciens.ucv.ve

Se presenta una diagnosis sobre las condiciones actuales de los principales ríos en Venezuela, su importancia bioecológica y estratégica y los factores antrópicos que los afectan tales como las actividades extractivas: petroleras, mineras metálicas (oro y diamantes) y no metálicas (arena y granzón). Las primeras son responsables de la afectación de amplias áreas en las cuencas de Maracaibo, Orinoco y Río San Juan. Las minerías metálicas se concentran en los ríos de los estados Amazonas y Bolívar. Finalmente, las minerías no metálicas afectan principalmente los ríos del piedemonte andino y de la costa. Todas ellas en mayor o menor grado producen afectación en el equilibrio físico-químico del ecosistema acuático, pérdida en biodiversidad, pérdida en la capacidad amortiguadora del sistema, deforestación y erosión de riberas, aumento de la sedimentación y contaminación con tóxicos que afectan la vida silvestre y al hombre.

Palabras Clave: ríos, industria petrolera, biodiversidad, minerías, impactos

I. INTRODUCCIÓN

Venezuela posee un área geográfica continental de cerca de un millón de kilómetros cuadrados, con una de las mayores concentraciones y diversidad de cuerpos de agua y cauces, y riqueza en recursos naturales, sólo comparable con pocos países localizados en las zonas medias y bajas ecuatoriales de América y África (Lowe-McConnell, 1987). Vastos ríos, lagos, lagunas, esteros, morichales, caños, sabanas y bosques inundables cruzan la geografía nacional dirigiendo sus cauces hacia la conformación de varias cuencas hidrográficas (Machado-Allison 2005, 2014, Lasso et al. 2010, Lasso et al. 2011), como son (Figura 1): 1) Orinoco, la principal, ya que incluye más del 70% del territorio nacional; 2) Caribe, integrada por todos los ríos que nacen en la Cordillera Central, estribaciones andinas y parte del sistema coriano que drenan al Mar Caribe; 3) Maracaibo que recibe las aguas de los ríos que nacen en la vertiente norte y oriental de la cordillera de Los Andes y la vertiente este de la Sierra de Perijá; 4) Amazonas, que recibe las aguas del río Casiquiare, Río Negro y afluentes de los macizos occidentales de Guayana; y 5) Cuyuní, incluyendo este río y afluentes en la región oriental de la Guayana y tierras bajas de la Serranía de Imataca.

Las cuencas y ecosistemas acuáticos en el país representan áreas de gran importancia, no sólo por su extensión y complejidad hidrográfica, sino porque albergan la mayor riqueza y biomasa (flora y fauna), funciones ecológicas y recurso potencial para el uso sustentable (Machado-Allison 2005, Machado-Allison et al. 2010, Lasso et al. 2011). Por esta razón, la posible amenaza o potencial pérdida de la calidad ambiental y de la biodiversidad por efectos antrópi-

cos, debe llamar la atención para diseñar medidas de control o mitigación de los efectos deletéreos causados. Han sido identificadas variadas actividades antrópicas que ya han ejercido un impacto visible sobre el estado natural de los ecosistemas acuáticos continentales en Venezuela (Machado-Allison et al. 2011, Machado-Allison y Bottini 2013). Entre estas se encuentran: 1) represas para fines domésticos, agropecuarios, energéticos e industriales; 2) deforestación para usos agrícolas, pecuarios, urbanos; 3) cambios en el uso de la tierra; 4) industria petrolera; 5) minería y contaminación por mercurio; 6) transporte fluvial; 7) introducción de especies exóticas; y 8) sobre pesca.

En este capítulo se presenta una descripción de la situación ambiental sobre el estado de los ríos que han recibido o potencialmente recibirán efectos adversos por las actividades mineras petroleras, mineras metálicas como oro y diamantes y no metálicas: arena y granzón en el país.

II. LA ACTIVIDAD PETROLERA Y SU EFECTO SOBRE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

Principales ríos afectados: Aguaro-Guarquito, Amana, Apure, Barinas, Caris, Catatumbo, Guanare, Guanipa, Guarapiche, Manapire, Morichal el Tigre, Morichal Largo, morichal San José, Orinoco, Oritupano, Pao, Portuguesa, San Juan, Santo Domingo y Zuata.

Lagos afectados: Lago de Maracaibo y zona costera del Golfo de Venezuela.

A pesar que las primeras exploraciones y explotación se realizaron por la Compañía Minera Petrolia del Táchira a finales del siglo XIX (1878) en la Hacienda “La Alquitran” (Santa Ana, en el estado Táchira), la actividad petrolera en Venezuela se ha desarrollado en dos áreas principalmente: Lago de Maracaibo (incluyendo al Golfo de Venezuela) y la región de los altos llanos orientales en los estados Anzoátegui y Monagas (Figura 2). En ambas regiones el deterioro ambiental sobre los ecosistemas acuáticos se evidencia en la contaminación permanente del aire, las aguas y riberas por las emisiones de gases y/o la fuga de hidrocarburos, transformándose en un pasivo ambiental difícil de mitigar o resolver adecuadamente. Esto, no solamente debido al deterioro de la red de distribución o el mantenimiento precario de los equipos en los pozos (Tabla 1), sino también, a la poca atención o respuestas oportunas dadas en el pasado por concesionarias (nacionales y extranjeras), y actualmente por una industria o empresa petrolera en manos del estado. Un resumen de los impactos más importantes causados por la ac-

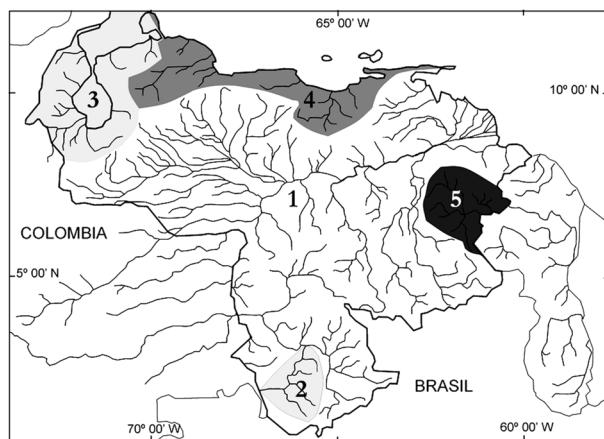


Figura 1. Distribución de las principales cuencas hidrográficas continentales en Venezuela y áreas de influencia: 1. Orinoco; 2. Amazonas; 3. Maracaibo; 4. Caribe; 5. Cuyuní-Esequibo.

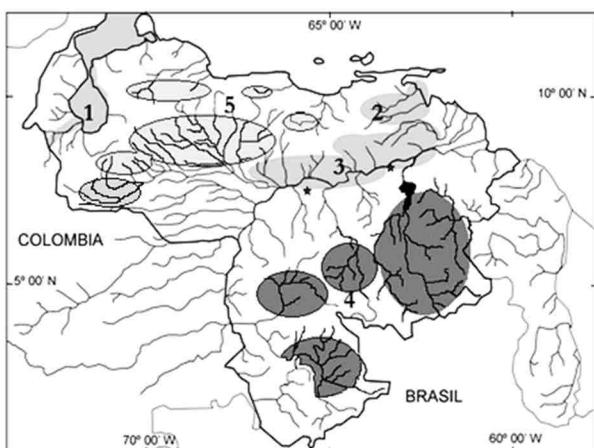


Figura 2. Áreas afectadas por la actividad minera: 1. Lago de Maracaibo; 2 Anzoátegui y Monagas; 3. Faja petrolífera del Orinoco; 4. Minería industrial y artesanal de oro y diamantes (Amazonas y Bolívar); 5. Minería no metálica (arena y gránzón) piedemonte andino, Cordillera Central y de la Costa.

tividad petrolera se presentan en las Tablas 2 y 3 tomando en cuenta las actividades de desarrollo: exploración sísmica, perforación, explotación, transporte, almacenamiento y refinación. La actividad petrolera, ha generado un desequilibrio ecológico de los componentes bióticos y abióticos en estas áreas principalmente en el aspecto biológico (biodiversidad), socioeconómico y político debido a sus riquezas naturales y su ubicación geográfica (Corona 2012). Cambios inmediatos y a largo plazo en: 1) La calidad del agua; 2) reducción del oxígeno disuelto, incremento de CO₂ y de la temperatura, reducción de transparencia; 3) modificación del sustrato (sedimentos); 4) pérdida de nutrientes; 5) reducción de la producción primaria y productividad. Todos estos cambios tienen efectos inmediatos que incluyen la reducción de diversidad y simplificación de la estructura comunitaria por mortalidad directa por asfixia o por bioacumulación en el tiempo. Por ejemplo, el incremento de oligoquetos y disminución o eliminación de quirónomidos, crustáceos y peces (el ictio-plancton es particularmente sensible). Efectos a largo plazo incluyen modificaciones subletales: fisiológicas, bioquímicas, genéticas y de comportamiento, en numerosos organismos (Machado-Allison 2012). Además, se ha determinado que los continuos derrames de petróleo, han ocasionado la destrucción del hábitat de los ecosistemas costeros y de los ríos, debido a que han alterado la calidad fisicoquímica de las aguas y del sedimento, provocando la muerte inmediata de especies continentales, estuarinas y marinas susceptibles a este hidrocarburo, perjudicando la ictiofauna

de interés comercial donde destacan: *Anodus laticeps*, *Megalonema* sp., *Perrunicthys perruno*, *Pimelodus coprophagus*, *Platysilurus malarmo*, *Sorubim cuspicaudus*, *Prochilodus magdalena* y *Trachinotus paitensis*, esta última en el Lago de Maracaibo.

Los derrames han incrementado el proceso de bioacumulación de sustancias y elementos tóxicos en el tiempo, como en el caso del cromo, cadmio, plomo y mercurio (Rivas et al. 2005). Por otro lado, el alto porcentaje ($> 80\%$) de observaciones por encima de la evaluación de riesgos laborales para la concentración de Cromo, Cobre, Plomo y Níquel, indica un riesgo potencial de los sedimentos (p.e. Sistema Lago de Maracaibo) sobre los organismos bentónicos o consumidores del bentos, como bien lo señalan Ávila et al. (2010).

II.1. Cuenca de Maracaibo. Los impactos ecológicos detectados en el Lago de Maracaibo y áreas adyacentes en el Golfo de Venezuela han sido históricos y en muchas ocasiones denunciados. Se han producido explosiones de pozos, la fuga de crudo y derrames por accidentes marinos (buques tanqueros). La ruptura de tuberías es frecuente, afectando infraestructuras domésticas e industriales, playas, aparejos de pesca, muerte de flora y fauna acuáticas y la permanente quema en los pozos y las asociadas al procesamiento en refinerías produce emisiones tóxicas (Acevedo et al. 2010, Tabla 3). Las principales preocupaciones están sobre los llamados Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) producidos tanto en refinerías como en los pozos. Las planicies y áreas adyacentes de los ríos Mene, Aurare, Pueblo viejo, Machango, Misoa y otros han sido afectados ampliamente. Así como también las zonas costeras del Lago de Maracaibo y Golfo de Venezuela. Otra fuente importante de contaminación petrolera ha provenido de derrames de crudo producidos por las roturas del Oleoducto Caño Limón-Coveñas en Colombia por

Tabla 1. Resumen de derrames de hidrocarburos en Venezuela. Periodo 2009-2014. Fuente: Informes anuales PDVSA (compilador Rafael Lairet).

Años	Número de derrames	Volumen derramado (m ³)
2009	8.124	182.232
2010	2.359	121.527
2011	4.019	124.373
2012	3.528	143.597
2013	10.659	82.909
2014	8.814	79.153

Tabla 2. Interacciones e impactos producidos por la actividad petrolera sobre el ambiente (modificado de Machado-Allison et al. 2011).

Acción	Procesos	Receptores
Acceso: construcción de pícas y carreteras	Erosión, sedimentación, deforestación, cambios de drenajes	Suelos, acuíferos y ríos
Perforación	Erosión, sedimentación, drenajes	Suelos, acuíferos y ríos
Extracción	Uso de abundante agua: ríos y acuíferos; aguas contaminadas; residuos hidrocarburos y aceites	Acuíferos y ríos
Transporte	Derrames y fugas	Suelos, acuíferos y ríos
Refinación	Emisiones tóxicas: H ₂ S, CO ₂ , H ₂ S, CO ₂ , SO _x , NO _x y sustancias: coques, fenoles	Aire, acuíferos y ríos
Almacenamiento	Derrame, percolación	Ríos, acuíferos, contaminación

acciones de la guerrilla. Los datos obtenidos tienen impacto: en 30 años del desarrollo y construcción del oleoducto se han producido numerosos atentados, con el derrame de millones de galones y afectando decenas de hábitats en la cuenca (Cuellar 2016). El petróleo derramado pasa al río Catatumbo y termina llegando al lago, donde los daños son evidentes, afectando ambientes acuáticos y terrestres, a la ganadería, la pesca en ese río y en el área de su contacto con el lago (Rivas et al. 2005).

II.2. Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro. Así como en la cuenca del Lago de Maracaibo, el desarrollo de la industria petrolera (crudo y gas) en el oriente de Venezuela es histórico y su desarrollo se remonta a mediados del siglo pasado. Como es manifestado por Machado-Allison et al. (2010):

“Los impactos sobre estos ecosistemas acuáticos han sido causados directamente por el proceso de extracción de petróleo y específicamente por el uso de grandes cantidades de agua para calentar el crudo y separarlo de las arenas. Este proceso extrae aguas subterráneas con altos contenidos de sal, que luego de ser utilizadas y mezcladas con productos residuales derivados del petróleo, tales como fenoles, son vertidas en pozos cercanos a las torres de extracción. Se ha demostrado que estas aguas son muy tóxicas para humanos y la vida silvestre. En general estos pozos tienen poco o ningún mantenimiento y en muchos casos la percolación de estas aguas alcanza a algún morichal ocasionando la muerte del sistema completo a lo largo de varios kilómetros río abajo”

Como impactos ecológicos derivados de la industria petrolera en Venezuela se han identificado en el área: 1) desertificación por salinización de suelos por

aguas residuales cercano a los pozos; 2) contaminación de aguas con sales y productos residuales de petróleo (aceites); 3) incremento de sedimentación en aguas producto de erosión de pícas, carreteras y taludes durante la exploración y explotación; y 4) destrucción de morichales por explosiones de pozos y tuberías, y derrames de crudo, restringidos por ahora a las áreas elevadas (mesas) en el estado Anzoátegui y las tierras bajas de los estados Monagas y Delta Amacuro (Machado et al. 1986). Estas actividades y sus impactos afectan principalmente a morichales, ecosistemas caracterizados por ser cuerpos de agua frágiles debido a su poca capacidad amortiguadora (Pérez-Hernández 1983), aguas típicamente oscuras, ácidas (por material húmico) y bien oxigenadas asociadas a bosques dominados por la palma moriche *Mauritia flexuosa*, y de muy alta diversidad en flora y fauna acuáticas. Especial atención tienen los morichales dada su importancia en el mantenimiento de comunidades indígenas y rurales, las cuales obtienen en estos ecosistemas abundantes recursos alimenticios, fibras para construcción y artesanía, agua limpia para consumo humano y animal, refugio para animales silvestres, bellezas escénicas y recursos turísticos que han permitido el desarrollo de innumerables balnearios para el disfrute de la gente (Pérez 1983, Machado et al. 1986, 2011, Marrero et al. 1997).

Por otro lado, accidentes graves (usualmente derrames) han ocurrido en años recientes, contaminando las aguas del sistema hidrográfico del río Guarapiche y afectando tanto al ambiente como a la población (Machado-Allison 2012). Se reconoce que muchos de los proyectos en desarrollo (Faja del Orinoco) proponen el atravesar con tuberías los drenajes naturales de ríos y morichales en el área (Baynard 2011) que pone en riesgo, además de la flora y fauna silvestres, la población y su ambiente como un todo,

Tabla 3. Principales contaminantes emitidos por la actividad petrolera. HAP: hidrocarburos aromáticos polí-cíclicos; SOx: óxidos de Azufre; COV: compuestos orgánicos volátiles; HC: hidrocarburos; NOx: óxidos de Nitrógeno; H₂S: Ácido Sulfúrico (modificado de Machado-Allison et al. 2011).

Acción causante	Contaminante producido	Efectos sobre el ambiente y la salud
Derrame de crudo	HAP, COV, HTP y salinidad en pozos y aguas.	Aguas contaminadas tóxicas para la vida acuática, no aptas para consumo humano y animal. Carcinógenos
Escape de diésel y gas	SOx, CO ₂ , NOx, CO, COV, H ₂ S, HC y partículas	Contaminación del aire; efecto sobre la actividad respiratoria, edema irritación mucosa; lluvia ácida afecta cuerpos de agua. Carcinógeno.
Quema de gas	H ₂ S, CO ₂ , HC y partículas	Lluvia ácida. Carcinógeno
Mejoramiento	Coque, H ₂ S, CO ₂ , SOx, fenoles	Contaminación de aire y aguas. Carcinógeno

o la insistencia de desarrollar refinerías y puertos de embarque en las riberas del río Orinoco (Machado-Allison y Marcano 2007, Machado-Allison et al. 2008, Provenzano et al. 2010, ver adelante).

II.3. Faja del Orinoco (estados Anzoátegui, Guárico, Monagas y Delta). Exploración y producción de petróleo extrapesado. Si bien la explotación de petróleo en el país se limitaba a dos áreas más o menos restringidas, una nueva opción económica se abrió en las últimas dos décadas con el descubrimiento de la Faja Petrolífera del Orinoco, ubicada a casi todo lo largo de los llanos venezolanos y colombianos. Estos yacimientos poseen petróleo denominado extrapesado debido a su alta densidad (API), que incluye una gran cantidad de material acompañante (azufre, bitumen, etc.). Para ser comercialmente atractivo y utilizable, éste petróleo necesariamente deberá ser mejorado mediante procesos industriales, de forma tal de eliminar estos materiales contaminantes mencionados anteriormente.

La prospección desarrollada en el pasado reciente indica reservas inmensas en el subsuelo venezolano, por lo que la atracción y presión económica ha sido sustancial. El estado ha ofertado el área en cuestión a un amplio número de organizaciones y empresas internacionales y se ha dividido esta región en un variado rompecabezas (Figura 3). Así mismo, se ha propuesto la construcción de varios “mejoradores” y se han realizado estudios de impacto ambiental (Machado-Allison y Marcano 2007, Machado-Allison et al. 2008, Provenzano et al. 2010), cuyos resultados le indican al Estado la necesidad de tener una normativa específica y muy rigurosa para evitar y paliar desastres ambientales y de haberlos responsabilizar a los ejecutores. Los peligros que se pueden evidenciar

al inicio de operaciones de extracción y posterior “mejoramiento” de este petróleo extrapesado son complejos: además de los ya mencionados (Tablas 2 y 3), se tiene una mayor producción de sustancias contaminantes como coque, azufre, fenoles, aceites y otros derivados de hidrocarburos no útiles.

Por otro lado, a partir de tales operaciones se producirá la fragmentación de numerosos hábitat ricos en biodiversidad debido a la construcción de carreteras, deforestación, aumento de la erosión, el desarrollo de una infraestructura de apoyo (tuberías, patios de almacenamiento, pozos de retención), dragado de cauces y construcción de puertos, todo ello necesario para garantizar las operaciones y transporte de crudo. Los contaminantes ingresarán a los ríos causando el deterioro de la calidad del agua y amenazando la vida silvestre y humana.

En otro orden de ideas, se modifican las zonas tradicionales dedicadas a la ganadería y la agricultura ya que al estar reguladas por las actividades dedicadas a la exploración y producción de la industria petrolera, es previsible que desaparezcan, por lo que la dependencia de material alimenticio foráneo podría aumentar; más aún, si se pretende establecer “polos de desarrollo” en esas áreas. Esto ejercerá una presión mayor sobre los recursos acuáticos como lo es el aumento de la cacería y pesca en el Parque Nacional “Aguaro-Guariquito” (Machado-Allison y Marcano 2007, Marcano et al. 2007).

III. ACTIVIDAD MINERA: ORO Y DIAMANTE

Principales ríos afectados: Atabapo, Autana, Caroní, Casiquiare, Caura Cuao, Cuyuní, Guayapo, Ocamo, Padamo, Paragua, Siapa, Sipapo, Ventuari, Yuruan y Yuruari.

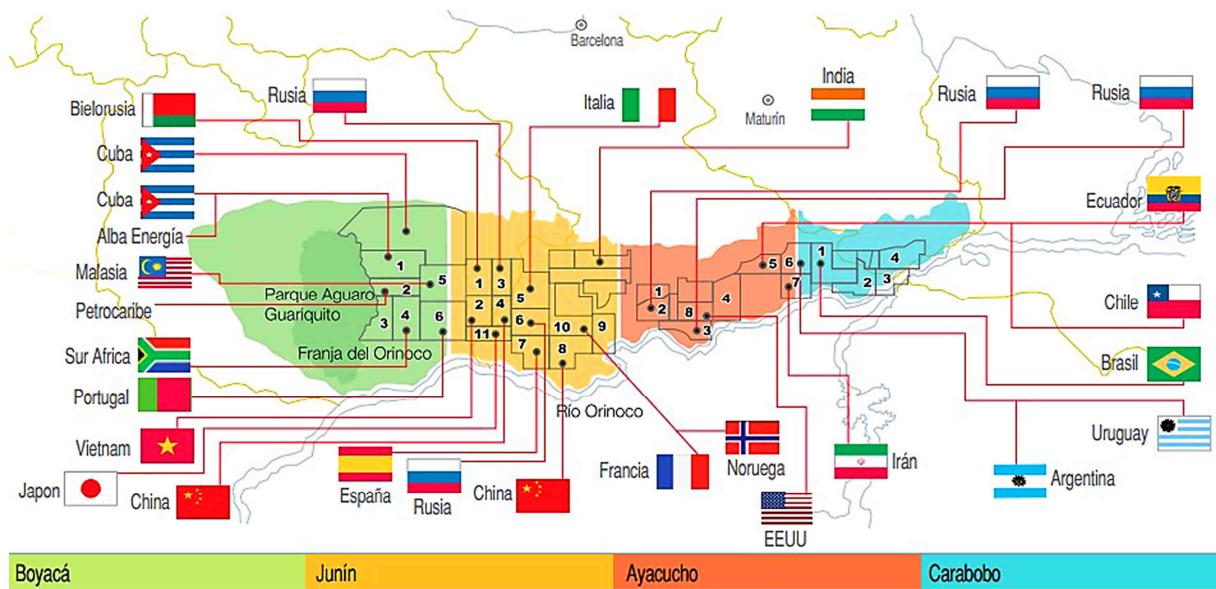


Figura 3. División de campos (Boyacá, Junín, Ayacucho y Carabobo) y concesiones establecidas en la Faja Petrolera del Orinoco. Tomado de PDVSA (2013).

La actividad minera de metales llamados “preciosos” dirigida principalmente a la obtención de oro y de diamantes es un problema continental (Heck y Tranca 2014). En Venezuela, esta minería se realiza en áreas asociadas al macizo guayanés en los estados Amazonas y Bolívar (Figura 2). Esta se ha realizado de forma tanto industrial como artesanalmente y en ambos casos existe una destrucción evidente del ambiente natural que ha llamado la atención ciudadana por décadas (Miranda et al. 1998). En el proceso de “limpieza” del área a ser explotada se produce una amplia destrucción del bosque y del suelo, causando su pérdida e incrementando la erosión. Los sedimentos son transportados a los ríos deteriorando su calidad de agua y destrucción de los fondos arenosos (Figura 4) y por supuesto la eliminación de flora y fauna acuáticas aguas abajo (Machado-Allison et al. 2000, Machado-Allison 2015). En la minería de oro, el metal es extraído por amalgamación con mercurio metálico (Hg), el cual es posteriormente volatilizado por calentamiento y liberado al ambiente. Se estima que un 45% de este mercurio se incorpora a la columna de agua del río, y es posteriormente transformado por los microorganismos en metilmercurio (CH_3Hg), el cual es altamente tóxico. Su dispersión se ve favorecida por los sedimentos que arrastran las corrientes, especialmente las de aguas blancas. El restante 55% del mercurio pasa a la atmósfera en forma de etilmercurio ($\text{C}_2\text{H}_5\text{Hg}^+$), quedando latente hasta por 24 meses en zonas secas y precipitándose relativamente rápido en regiones con altos niveles de pluviosidad (Veiga et al. 1995). Se estima que entre

los años 1550 y 1880 se han usado más de 200.000 toneladas de mercurio para separar oro por amalgamación, especialmente en las regiones de los ríos suramericanos (Nriagu 1993, Villas Boas 1997, Maurice-Bourgoïn et al. 1999). En el agua el metilmercurio es rápidamente incorporado en los organismos y traspasado desde organismos detritívoros hasta carnívoros para acumularse en cantidades importantes en peces, reptiles y mamíferos acuáticos (Rosas y Lehti 1996, Gutleb et al. 1997), con serios efectos en la biota y en las personas debido a la ingesta de alimentos contaminados, como el pescado (US-EPA 1984, Fréry et al. 2001, Limbong et al. 2003, Porto et al. 2005, Castilhos et al. 2006, Trujillo et al. 2010).

Daños ambientales y niveles de mercurio en peces han sido documentados en Venezuela (Miranda et al. 1998, Machado-Allison et al. 2000, Farina et al. 2009, Trujillo et al. 2010) y recientemente su afectación en humanos (Álvarez y Rojas 2009, Red Ara 2013). Las Figuras 4 y 5 muestran algunos de estos resultados. Álvarez y Rojas (2009) indicaron que en los ríos Paragua y Caroní, ambos afectados por la minería, 46,13% del total de especies de peces, presentaron niveles promedio de mercurio total en tejido muscular por encima de los valores fijados por la OMS/FAO (0,5 ppm) y de ese porcentaje, el 83,3% correspondió a especies de hábitos alimenticios piscívoros y omnívoros. Estas especies particularmente son las consumidas con preferencia por los pobladores. Por otro lado, como es indicado por Trujillo et al. (2010), los animales contaminados, es-

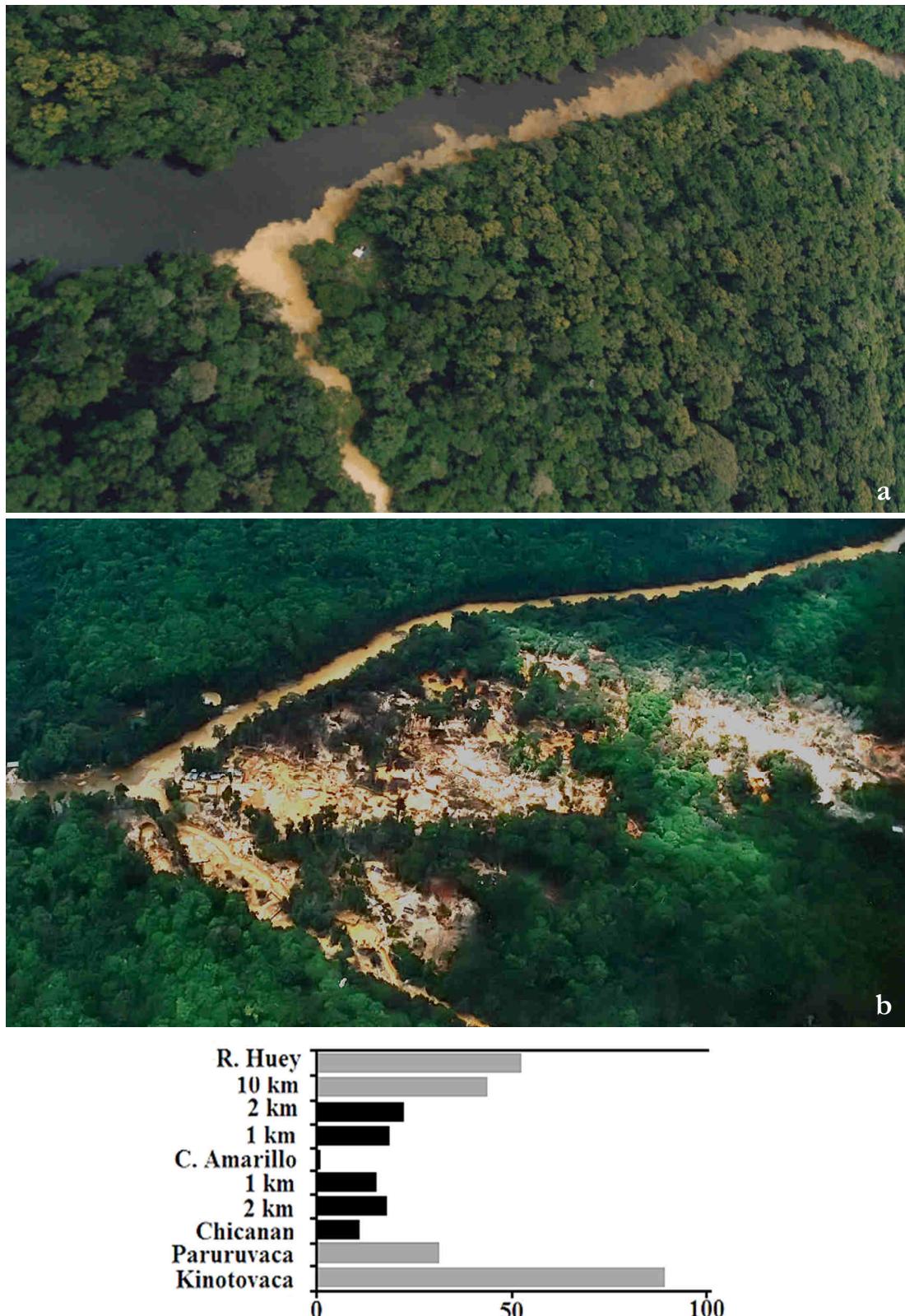


Figura 4. Fotografías aéreas del río Amarillo y su confluencia con el río Cuyuní, este último en la parte superior de cada fotografía (a y b). Dos etapas del desarrollo de minería de oro en Las Claritas, estado Bolívar (Fotos modificadas de Charles Brewer Carias). Abajo: Número de especies de peces obtenidas en diferentes localidades del Río Amarillo y Cuyuní según Machado-Allison et al. (2000).

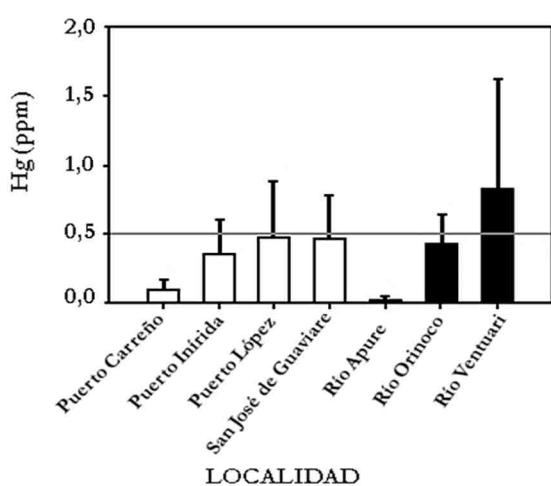


Figura 5. Mercurio total en músculo de peces en la cuenca del río Orinoco. Las barras color blanco son las localidades en Colombia y las barras en color negro en Venezuela. Las barras muestran la concentración media de mercurio (± 1 DE). La línea de referencia horizontal indica el valor máximo permisible de mercurio en peces (OMS, 0,5 ppm). Tomado de Trujillo et al. (2010).

pecialmente los peces migratorios, pueden llevar el efecto adverso a cientos o miles de kilómetros de distancia de la fuente original.

Una nueva actividad ha sido introducida en el país para la extracción de oro y diamantes del fondo de los ríos, y es mediante el uso de grandes barcazas con “chupadoras” que aspiran el fondo de los ríos y este sedimento es pasado por tamices impregnados con mercurio. Este tipo de sistema ha sido reportado en ríos como el Atabapo y el Caroní. La explotación del oro ha traído como consecuencia variados problemas sociales y de salud a las comunidades humanas locales. Un análisis del contenido de mercurio en el cabello y la orina de habitantes de comunidades en Brasil y Venezuela muestran que las concentraciones del metal llegan a ser más altas en personas que se alimentan de peces, que en los mismos mineros (Rodrigues et al. 1994), alcanzándose niveles preocupantes en el agua, plantas y peces, como es el caso del río Madeira (Martinelli et al. 1988), Cuyuní y Caroní (Machado-Allison et al. 2000, Farina et al. 2009, Trujillo et al. 2010). Niños y fetos son particularmente vulnerables: 92% mujeres examinadas en el Caura tenían niveles superiores a 0,5 µg/g (Red Ara 2013, Machado-Allison, 2015). El límite máximo de concentración de mercurio (0,5 ppm) es establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), lo que contrasta con el intervalo de 0,07-2,7 ppm encontrado en los peces analizados del río Madeira (Brasil) y entre 0,04 a 1,4 ppm en el río Orinoco, en el lado

de Venezuela. En ocasiones estas concentraciones fueron halladas en peces a más de 180 km de distancia de la mina de oro más próxima (Malm et al. 1990). Lo anterior sugiere que: a) la contaminación por mercurio es un proceso dinámico; b) los organismos con mayores concentraciones son los depredadores superiores que bioacumulan el metal; y c) los peces migratorios, como en el caso de los grandes bagres depredadores, que son vehículos de transporte del mercurio a grandes distancias. Lo cual ha sido determinante en que la problemática de contaminación por mercurio sea considerada de carácter global.

IV. MINERÍA DE HIERRO Y BAUXITA Y PROCESAMIENTO DE ALUMINIO

Principales ríos afectados: el cauce principal y lagunas marginales del río Orinoco. Riachuelos y morichales cercanos a la mina Los Pijigüaos (estado Bolívar).

En Venezuela la bauxita es explotada principalmente para la extracción del aluminio. La principal fuente proviene de las minas ubicadas en la región de Los Pijigüaos, descubiertas en los trabajos exploratorios efectuados por la Dirección de Geología de Ministerio de Energía y Minas en el año 1974. Esta mina está ubicada en la región suroccidental del Distrito Cedeño del estado Bolívar a 130 Km al sur de Caicara y a 35 Km al este del río Orinoco. Su producción histórica se encuentra entre 3 a 5 millones de toneladas anuales (Mariño 2015). El material es transportado por medio de barcazas desde un puerto cercano a la mina hasta la ciudad de Puerto Ordaz, donde el material es procesado y transformado en alúmina.

Para la producción de aluminio se requiere refinar la bauxita por un proceso el cual utiliza soda cáustica a altas temperaturas y altas presiones para obtener alúmina que es la materia prima para conseguir aluminio. Este proceso genera como material residual los lodos rojos y soda cáustica en una proporción muy alta. La industria básica para producir aluminio fue instalada en Guayana, (estado Bolívar) y en el diseño se cometió el error (entre otros) de ubicar las lagunas de desechos de lodos rojos en un sitio totalmente inapropiado debido a la influencia de los flujos hídricos (inundación) durante el periodo lluvioso.

Estas lagunas de desechos están prácticamente a orillas del río Orinoco, cerca de lagunas naturales y de comunidades indígenas y de pescadores (Ciencia Guayana 2005, Amigransa 2011). Los lodos rojos son altamente tóxicos ya que además de soda cáustica contienen óxidos de hierro, silicio, titanio, aluminio, calcio, aguas con pH altos cercanos a 14,

trazas de cromo, níquel, plomo y magnesio además de otros metales pesados (Rivas et al. 2009). Se ha determinado que los lodos rojos pueden causar quemaduras graves, irritación de epitelios (vías respiratorias), muerte por ingestión; además, estos afectan ambientalmente la calidad del aire, el agua (superficial y subterránea), y los suelos resultando en una amenaza directa sobre los recursos pesqueros en el área ya que los animales de respiración acuática son los principalmente afectados por irritación del epitelio branquial produciendo la muerte. Por tales motivos, hay una preocupación general y extendida sobre el problema ambiental, los recursos acuáticos y de salud humana (Ciencias Guayana 2005, Amigransa 2011).

V. ACTIVIDAD MINERA NO METÁLICA: ARENA Y GRAVA

Principales ríos afectados. Casi todos los ríos del piedemonte andino llanero, de las cordilleras Central y de la Costa, así como del sistema Coriano (Figuras 2 y 8). Por miles de años las arenas y gravas han sido usadas en la construcción industrial, vial y urbana. La demanda de este tipo de materiales continúa aumentando a medida que la población crece, requiriendo más viviendas y vías de comunicación. Este recurso natural se encuentra principalmente en ríos que drenan las montañas en los cuales, mediante la fragmentación y erosión de las rocas, se generan variados tamaños de estos elementos minerales.

Los cantes rodados, piedras redondeadas por desgaste, son típicas de estos ríos; sin embargo, muchos otros elementos con granulometría variadas forman parte del lecho rocoso-arenoso en cuencas que nacen en las cordilleras venezolanas. La extracción de arenas y grava de ríos es una actividad ampliamente distribuida y verificable (Figura 8). Cuando ésta actividad se realiza en forma excesiva causa la degradación de los lechos. La extracción rebaja el lecho del río, lo que puede resultar en la erosión de las ribera o bancos (Figura 9). La extracción en los lechos y áreas costeras causa la profundización de ríos y estuarios, es una amenaza para los puentes y el agrandamiento de las entradas costeras, lo que puede llevar a intrusión salina (Ponce 2016). Por otro lado, la erosión de las ribera aumenta la carga sedimentaria y elementos suspendidos en el agua, disminuyendo su transparencia y calidad. La extracción también afecta el agua subterránea y el uso que le dan al río los habitantes de las ribera. Así, cualquier volumen de arena exportado de los lechos fluviales y estuarios es una pérdida para el sistema. En consecuencia, la extracción produce una destrucción del hábitat acuático y ripario por cambios en la



Figura 8. Minería de arena y grava en el río Acarigua, Piedemonte andino llanero. Foto modificada de C. Marrero, 2013.

hidromorfología de los ríos. Los impactos verificados en los ríos son: 1) la degradación del lecho; 2) el cambio en la estructura de las ribera; 3) la disminución del nivel freático; 4) la inestabilidad y fragilidad del lecho, aumento de la erosión y sedimentación aguas abajo; 5) la degradación de la biota acuática y el bosque de galería asociado al río; y 6) la generación de un tráfico vehicular adicional, el cual impacta negativamente el medio ambiente (Ponce 2016).

COMENTARIOS FINALES

Para alcanzar y garantizar los derechos fundamentales consagrados en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999) y las leyes particulares que orientan y rigen las diferentes actividades mineras (ver, por ejemplo, Riestra 2017) se debe tener conciencia que las actividades mineras se pueden desarrollar con buenas y seguras prácticas; estas deben seguir las normas establecidas nacional e internacionalmente, estar comprometidas por los diferentes actores en donde el alto valor del mineral, su distribución y concentración espacial, las condiciones socioeconómicas y sanitarias de la poblaciones

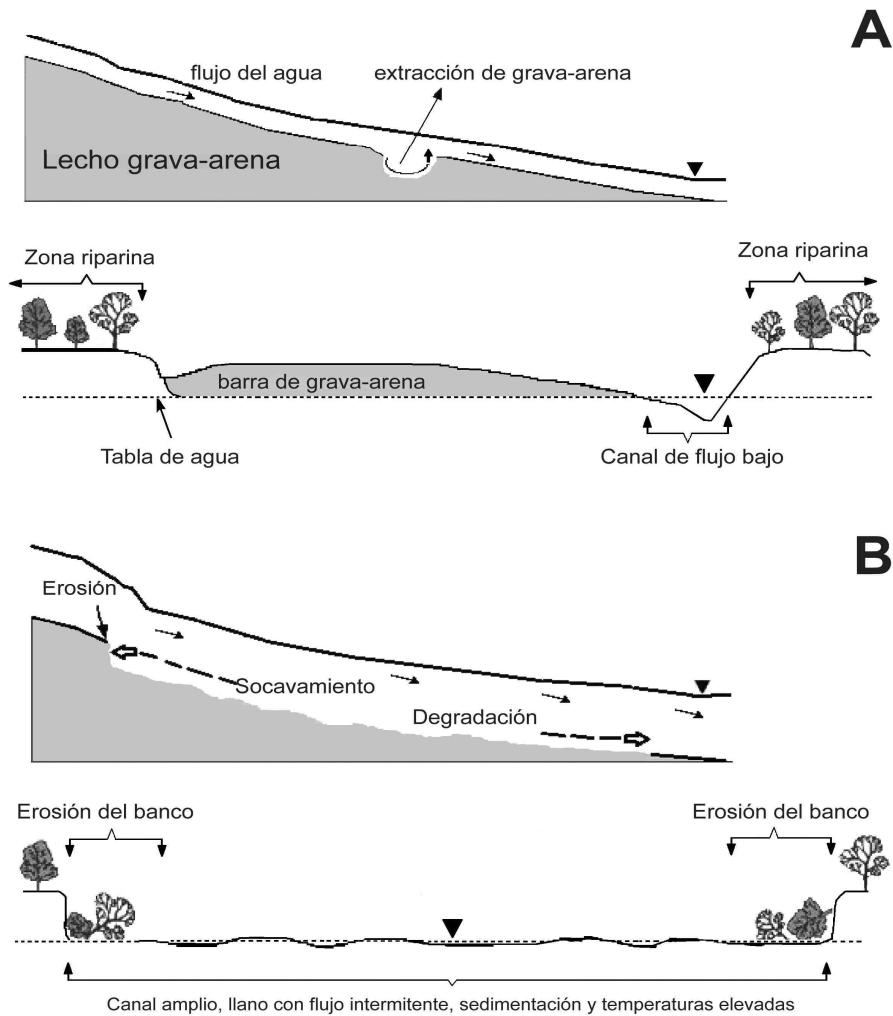


Figura 9. El efecto de la extracción excesiva de arena y grava del lecho de los ríos. A. Inicio, flujo permanente; B después de un tiempo el canal se amplia y el flujo es intermitente con agua de altas temperaturas. Modificado de Ponce (2016).

afectadas y la protección del ambiente deben ser tomadas en cuenta para garantizar un desarrollo sostenible (Hammond et al. 2013, Machado-Allison 2015). Sin embargo, las incertidumbres gubernamentales, los planes de desarrollo y la muy poca atención que se le ha prestado a estas actividades es necesario valorar ciertas condiciones (Andrade y Machado-Allison 2008):

- 1) Viendo hacia el futuro, es inocente pensar que un manejo científico adecuado puede prevenir la pérdida de algunas partes de los componentes de un ecosistema. Los ecosistemas naturales son sistemas dinámicos de corto, mediano y largo plazo y este dinamismo incluye componentes azarosos importantes. Sin embargo, la ciencia debe tener un papel importante en este problema minero y

las potenciales soluciones, principalmente en el incremento del esfuerzo e investigaciones científicas dedicadas a la obtención de data en la interfase de hidrología, geomorfología y ecología, para entender la vulnerabilidad de los ecosistemas, su uso responsable y sostenible, y el avance de las bases científicas para regulaciones o normativas secundarias, son necesarias y urgentes: por lo tanto la integración de equipos multi o transdisciplinarios es de gran importancia;

- 2) Un desarrollo sostenible requiere del cambio en cómo se percibe el mundo. Es todavía popular la creencia de que el agua representa un recurso natural inagotable y capaz de desarrollar energía (p.e. electricidad) a un costo económico o ambiental mucho más bajo que a costa del petróleo o energía nuclear. Esta percepción está basada en

cuatro argumentos: a) agua dulce natural corriendo hacia los océanos es agua perdida; b) los humedales o pantanos son tierras pobres y representan un peligro sanitario; c) las inundaciones son una amenaza inaceptable para las tierras (agrícolas) y la vida humana; y d) la producción de hidroelectricidad es una opción ecológicamente sostenible para el desarrollo de programas de energía. Como ha sido manifestado por numerosos autores (ver: Petts 1990, Machado-Allison 2005), esta visión debe ser cambiada mediante procesos educativos a todos los niveles indicando entre otras cosas, que los humedales o pantanos permanentes o temporales poseen un valor immense en el mantenimiento de las poblaciones de organismos acuáticos, incluyendo aquellos que frecuentemente participan en la dieta de la fauna silvestre y de poblaciones humanas. Que las inundaciones son necesarias para completar ciclos biológicos y biogeoquímicos; y que la producción de petróleo, oro, aluminio, acero, hidroelectricidad, etc., no es automáticamente una opción ecológicamente sostenible y en muchos casos ha sido un factor de perturbación y desaparición de numerosos ecosistemas en nuestro país;

- 3) Los desarrollos exitosos del uso de nuestros recursos naturales deben estar basados no solamente en avances tecnológicos científicos y sociológicos, sino también en una buena coordinación y administración efectiva del agua, la protección de sus fuentes y las cuencas, su descarga y calidad, y el manejo adecuado de las tierras;
- 4) Con respecto al desarrollo petrolero nos debe llamar a una reflexión profunda, la necesidad de un cuidado celoso que debe tener esta industria en el país para evitar eventos deletérios hacia el ambiente (p.e. derrames). Más aún cuando se establecen criterios y normas en los estudios de impacto ambiental promovidos por la misma empresa estatal.

REFERENCIAS

- Acevedo, J., Niño, Z. y Ramos, A. 2010. Riesgos ambientales por emisiones atmosféricas en una refinería de petróleo. *Revista Ingeniería Universidad de Carabobo*. 13(3): 85-91.
- Álvarez, F. L. A. y Rojas, L. A. 2009. Contenido de mercurio total en peces de consumo habitual en los asentamientos indígenas El Plomo y El Casabe, Estado Bolívar. *Universidad Ciencia y Tecnología*. 13(51): 97-102.
- Andrade, J. y Machado-Allison, A. 2008. El control de los ríos y su impacto sobre la ictiofauna continental: una revisión. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*. LXVIV(4): 31-50.
- Baynard, C. 2011. The landscape infrastructure footprint of oil development: Venezuela's heavyoil belt. *Ecological Indicators*. 11: 789-810.
- Castilhos Z. C., Rodrigues-Filho, S., Rodrigues, A. P. C., Villas-Boas, R. C., Siegel, S., Veiga, M. M. y Beinhoff, C. 2006. Mercury contamination in fish from gold mining areas in Indonesia and human health risk assessment. *Science of the Total Environmental*. 368: 320-325.
- Cuellar, A. 2016. Oil and Peace in Colombia: Industry challenges in the post-war period. Wilson Center: Latinoamerican Program.
- Farina, O., Pisapia, D., González, M. y Lasso, C. 2009. Evaluación de la contaminación por mercurio en la biota acuática, agua y sedimentos de la cuenca alta del río Cuyuní, Estado Bolívar, Venezuela. Capítulo 4 (pp. 74-88). En: Lasso, C. A., Señaris, J. C., Rial, A. y Flores, A. L. (Eds.). *Evaluación Rápida de la Biodiversidad de los Ecosistemas Acuáticos de la Cuenca Alta del Río Cuyuní, Guayana Venezolana*. RAP Bulletin of Biological Assessment 55. Conservation International, Washington, D.C., USA.
- Fréry N., Maury-Brachet, R., Maillot, E., Deheeger, M., de Merona, B. y Boudou, A. 2001. Gold-Mining Activities and Mercury Contamination of Native Amerindian Communities in French Guiana: Key Role of Fish in Dietary Uptake. *Environmental Health Perspective*. 109: 449-456.
- Gutleb A., Schennck, C. y Staib, E. 1997. Giant otter (*Pteronura brasiliensis*) at Risk? Total mercury and methylmercury levels in fish and otter scats, Peru. *Ambio*, 26(8): 511-514.
- Hammond, D., Rosales, J. y Ouboter, P. 2013. *Managing the freshwater impacts of surface mining in Latin America*. IDB. TN-519. Inter - American Development Bank.
- Heck, C. y Tranca, J. (Eds.). 2014. *La realidad de la minería ilegal en países amazónicos*. Programa de Ciudadanía y Asuntos Socioambientales. Sociedad Peruana de Derecho Ambiental, Perú.
- Lasso, C. Rial, A., Matallana, C., Ramírez, W., Señaris, J., Díaz-Pulido, A., Corzo, G. y Machado-Allison, A. (Eds.). 2011. *Biodiversidad de la Cuenca del Río Orinoco. II. Áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible*. Instituto A. Von Humboldt, Min. Ambiente, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle, Instituto Estudios de la Orinoquia, Bogotá Colombia.
- Lasso, C., Rial, A., Colonnello, G., Machado-Allison, A. y Trujillo, F. (Eds.). 2014. *Humedales de la Orinoquia (Colombia-Venezuela)*. Serie: Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia XI. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia.
- Lasso, C., Usma, J. S., Trujillo, F. y Rial, A. (Eds.). 2010. *Biodiversidad de la Cuenca del Río Orinoco: I. Bases científicas para la identificación de áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad*. Instituto A. Von Humboldt, Bogotá Colombia. Instituto A. Von Humboldt, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle, Instituto Estudios de la Orinoquia, Bogotá Colombia.
- Limbong, D., Kumampung, J., Rimper, J., Arai, T. y Miyazaki, N. 2003. Emissions and environmental implications of mercury from artisanal gold mining in north

- Sulawesi, Indonesia. *Science of the Total Environmental*. 302: 227-236.
- Lowe-McConnell, R. 1987. *Ecological studies in tropical fish communities*. Cambridge Univ. Press, N. Y.
- Machado-Allison, A. 2005. *Los Peces del Llano de Venezuela: un ensayo sobre su Historia Natural*. (3ra. Edición). Consejo Desarrollo Científico y Humanístico (UCV), Editorial Torino, Caracas.
- Machado-Allison, A. 2012. Notas sobre el problema del derrame de petróleo en el Río Guarapiche, Estado Monagas, Venezuela. *Revista Natura Digital*. Marzo. [Http://www.natura-digital.com/index](http://www.natura-digital.com/index)
- Machado-Allison, A. 2015. La minería en Guayana, sus efectos ambientales y sobre la salud humana. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*. LXXV(1): 9-30.
- Machado-Allison, A. y Marcano, A. 2007. *Informe Final Fauna Acuática. Proyecto Estudio Socio Ambiental Específico para la Ubicación de la Refinería de Cabruta*. PDVSA. S. A.
- Machado-Allison, A., Brull, O. y Marrero, C. 1987. Bases para el diseño de medidas de mitigación y control de las cuencas hidrográficas de los ríos Caris y Pao, Edo. Anzoátegui. Sección Fauna Acuática. Informe Final Proyecto Meneven-Car33 (1984-1987). UCV-Meneven.
- Machado-Allison, A., Chernoff, B., Royero, R., Magoleccia, F., Velásquez, J., Lasso, C., López, H., Bonilla, A., Provenzano, F. y Silvera, C. 2000. Ictiofauna del Río Cuyuní. *Interciencia*. 25(1): 13-21.
- Machado-Allison, A., Lasso, C., Usma, J., Sánchez, P. y Lasso, O. 2010. Peces, Capítulo 7 (pp: 217-257). En: Lasso, C., Usma, J. S., Trujillo, F. y Rial A. (Eds.). *Biodiversidad de la Cuenca del Río Orinoco: I. Bases científicas para la identificación de áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad*. Instituto A. Von Humboldt, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle, Instituto Estudios de la Orinoquia, Bogotá Colombia.
- Machado-Allison, A., Mesa, L. y Lasso, C. 2013. Peces de los morichales y cananguchales de la Orinoquia y amazonía colombo-venezolana: una aproximación a su conocimiento, uso y conservación. Quinta Parte: Ictiofauna de los morichales y cananguchales. Cap. 15: (pp: 289-334). En: Lasso, C. A., A. Rial y V. González-Boscán. (Eds.). *Morichales y Cananguchales de la Orinoquia y Amazonía: Colombia-Venezuela*. (Parte 1). Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia.
- Machado-Allison, A., Provenzano, F., Mesa, L. y Marcano, A. 2008. *Informe Final. Fauna Acuática. Proyecto Estudio Ambiental específico para la Microlocalización de la Refinería de Cabruta, Estado Guárico*. PDVSA S.A.
- Machado-Allison, A., Rial, A. y Lasso, C. 2011. Amenazas e impactos sobre la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos de la Orinoquia venezolana (pp: 63-88). En: Lasso, Rial, Matallana, Señaris, Díaz-Pulido, Corzo y Machado-Allison (Eds.) *Biodiversidad de la Cuenca del Orinoco. II. Áreas Prioritarias para la Conservación y Uso Sostenible*. Instituto A. Von Humboldt, Min. Ambiente, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle, Instituto Estudios de la Orinoquia, Bogotá Colombia.
- Malm O., Pfeiffer, W., Souza, C. M. y Reuther, R. 1990. Mercury pollution due to gold mining in the Madeira River basin, Brazil. *Ambio*. 19(1): 11-15.
- Marcano, A., Mesa, L., Paz, J. y Machado-Allison, A. 2007. Adiciones al conocimiento y conservación de los peces del Sistema Aguaro-Guariquito y Río Manapire, cuenca del Río Orinoco, estado Guárico, Venezuela. *Acta Biológica Venezolana*. 27(1): 36-49.
- Mariño, N. 2015. Minería en Guayana: situación actual, potencial, crisis e inseguridad. [Http://www.acading.org.ve/info/comunicacion/pubdocs/FORO_MINERIA_AMBIENTE_Y_SALUD/Mineria_en_Guayana.pdf](http://www.acading.org.ve/info/comunicacion/pubdocs/FORO_MINERIA_AMBIENTE_Y_SALUD/Mineria_en_Guayana.pdf) [consultado 15 marzo 2016].
- Marrero, C., Machado-Allison, A., González, V., Velázquez, J. y Rodríguez-Olarte, D. 1997. Ecología y distribución de los peces de los morichales de los llanos orientales de Venezuela. *Acta Biológica Venezolana*. 17(4): 65-79.
- Martinelli, L., Ferreira, J., Forsberg, B. y Victoria, R. 1988. Mercury contamination in the Amazon: A gold rush consequence. *Ambio*. 17(4): 252-254.
- Maurice-Bourgois, L., Quiroga, I., Malm, O. y Chincheros, J. 1999. Contaminación por mercurio en agua, peces y cabellos humanos debido a la minería aurífera en la cuenca Amazónica Boliviana. *Revista Boliviana de Ecología*. 6: 239-246.
- Miranda, M., Blanco-Uribe, A., Hernández, L., Ochoa, J. y Yerena, E. 1998. No todo lo que brilla es oro: hacia un nuevo equilibrio entre conservación y desarrollo en las últimas fronteras forestales de Venezuela. Instituto de Recursos Mundial, Iniciativa sobre fronteras forestales. WRI, Washington DC, United States of America.
- Nriagu, J. O. 1993. Mercury pollution from silver mining in colonial South America. (pp: 365-368). En: Abrao, J. J., Wasserman, J. C. y Silva-Filho, E. V. (Eds.) *Proceedings Perspectives for Environmental Geochemistry in Tropical Countries*. Brazil.
- PDVSA. 2013. *Informe de gestión anual. 2013. Administración soberana de nuestro recurso natural*. Petróleos de Venezuela S. A.
- Pérez, L. E. 1983. Uso del hábitat por la comunidad de peces en un río tropical asociado a un bosque. *Memoria Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*. 121: 143-162.
- Pérez-Hernández, D. 1983. *Comportamiento hidrológico y sensibilidad ambiental de los morichales como sistemas fluviales*. MARNR Informe Técnico DGSIIA IT 127, Caracas.
- Ponce, V. 2016. Extracción de arenas. Grupo de Investigación Ojos Negros. En: [Http://tresproblemas.sdsu.edu/tres_problemas_arenas01.html](http://tresproblemas.sdsu.edu/tres_problemas_arenas01.html) [consulta marzo 2016]
- Porto J. I. R., Araujo, C. S. O. y Feldberg, E. 2005. Mutagenic effects of mercury pollution as revealed by micronucleus test on three Amazonian fish species. *Environmental Research*. 97: 287-292.
- Provenzano, F., Machado-Allison, A., Andrade, J. y Marcano, A. 2010. Estudio de microlocalización de los muelles de embarque y patio de almacenamiento de

- sólidos en el sector Orinokia del río Orinoco. Informe Final. PDVSA. S. A.
- Red Ara. 2013. *La Contaminación por mercurio en la Guayana Venezolana: Una propuesta de diálogo para la acción*. Red Ara-Avina.
- Riestra, J. 2017. El Estado y las leyes en la protección de los ríos en Venezuela. Capítulo 11. (pp: 203-219). En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.). *Ríos en riesgo de Venezuela. Vol. I. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela*. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Rivas, J., Gomes, L., Macedo, A., Cabral, A. y Simoes, R. 2009. Influencia del contenido del lodo rojo (residuo de bauxita) en las propiedades físico-mecánicas de materiales cerámicos conformados por extrusión. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*. 29(2): 93-100.
- Rivas, Z., Troncone, F., Colina, M. y Ledo, H. 2005. Contaminación de los ríos venezolanos Catatumbo y Tarra por derrames de petróleo provenientes de la República de Colombia. I Jornadas Técnicas de Conservación Ambiental. Caracas, Venezuela.
- Rodríguez, R. M., Mascarenhas, A. F. S., Ichihara, A. H., Souza, T. M. C., Bidone, E. D., Bella, V., Hacon, S., Silva, A. R. Braga, J. B. P. y Stilianidi, B. 1994. Estados impactos ambientais decorrentes do estrabismo mineral e poluicao mercurial no Tapajos. Pre Diagnóstico. STA, CETEM/CNPq, Rio de Janeiro. Serie *Tecnología Ambiental*. (4): 1-218.
- Rosas, F. y Lehti, K. 1996. Nutrition a land mercury content of milk of the Amazon river dolphin, *Inia geoffrensis*. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 115A(2): 117-119.
- Trujillo, F. Lasso, C., Díaz-Granados, M. C., Fariña, O., Pérez, I., Barbarino, A., González, M. y Usma, J. S. 2010. Evaluación por la contaminación de mercurio en peces de interés comercial y de la concentración de organoclorados y organofosforados en agua y sedimentos de la Orinoquia. (pp: 339-355). En: Lasso, C., Usma, J. S., Trujillo, F. y Rial A. (Eds.). *Biodiversidad de la Cuenca del Río Orinoco: I. Bases científicas para la identificación de áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad*. Instituto A. Von Humboldt, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle, Instituto Estudios de la Orinoquia, Bogotá Colombia.
- USEPA. 1984. Ambient water quality criteria for Mercury-1984. EPA/440/5-84-026. En línea: <<http://www.epa.gov/ost/pc/ambientwqc/mercury1984.pdf>>.
- Veiga M. M. y Meech, J. A. 1995. Gold-mining activities in the Amazon: clean-up techniques and remedial procedures for mercury pollution. *Ambio*. 24(6): 371-375.
- Villas Boas R. C. 1997. The mercury problem in the Amazon due to gold extraction. *Journal of Geochemical Exploration*. 58: 217-222.



Muy cerca de su nacimiento en el Parque Nacional Terepaima, el río Claro desaparece en las sequías, acaso perdido y ahogado por su extraordinaria carga de sedimentos, para provecho de minerías artesanales e industriales que medran gracias a su legado (fotografía de D. Rodríguez-Olarte).

El estado y las leyes en la protección de los ríos en Venezuela

Juan Lucas Riestra

Postgrado de Ingeniería Ambiental. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela.
lucas.riestra@gmail.com

La Constitución de la República Bolivariana de Venezuela consagra la obligatoriedad del Estado de proteger el ambiente, los procesos ecológicos y las áreas de importancia ecológica; le atribuye además la obligación fundamental de garantizar que las aguas en términos generales, sean especialmente protegidas de conformidad con la ley. Considera además la Constitución que las aguas son del dominio público de la nación, insustituibles para la vida y el desarrollo, señalando que la ley asegurará su protección, aprovechamiento y recuperación, respetando las fases del ciclo hidrológico. La Ley Orgánica del Ambiente fija la pauta para la conservación de la calidad del agua, refiriéndose a la protección integral de las cuencas hidrográficas, uso e impacto, sobre todo cuando abastecen poblaciones o sistemas de riego. Los ecosistemas fluviales, empleando literalmente esta denominación, no aparecen en forma expresa en las normas, lo que no los excluye del ordenamiento jurídico ambiental venezolano, que en la ley de Aguas desarrolla las disposiciones para su protección y aprovechamiento sustentable, se hace referencia expresa a las cuencas hidrográficas y establece las regulaciones que consideran la cuenca como unidad geográfica, debiendo partir de allí las políticas públicas del Estado, que garanticen su protección. Finalmente, la Ley Penal del Ambiente y las normas técnicas que regulan la materia, establecen las sanciones por daños a los ecosistemas fluviales, especialmente por las descargas contaminantes, fijando en las normas los criterios de clasificación de las aguas y los límites máximos de descargas contaminantes.

Palabras Clave: leyes, Protección de las Cuencas, Aguas, Ecosistemas Fluviales, Legislación de Venezuela

I. INTRODUCCIÓN

Al abordar el tema de la protección de los ecosistemas fluviales, se entiende una referencia a todo el conjunto formado por componentes biológicos o inertes, que mantienen diferentes relaciones recíprocas y que están contenidos, en los cuerpos de agua que se encuentran en los ríos, siendo entonces el agua el espacio vital de dichos componentes. Es conveniente acotar que aun cuando el agua se encuentra en ecosistemas fluviales, marinos, lacustres, e incluso bajo la tierra, en depósitos subterráneos, aquí serán los ecosistemas fluviales el objeto de estudio y valoración.

El derecho venezolano no se refiere expresamente a los ecosistemas fluviales, ni los llama necesariamente por su nombre, lo cual no implica que no existen regulaciones. Las normas constitucionales y legales indican que el ambiente es un bien jurídico protegido, además incluye a las aguas como uno de los elementos del ambiente y los ecosistemas fluviales son el espacio natural para su conservación, por lo tanto, las normas dirigidas a proteger y asegurar la sustentabilidad del recurso agua, forzosamente deben proteger los ecosistemas que la comprenden, como en efecto lo hacen. Es así como encontramos figuras como las cuencas hidrográficas, enmarcadas dentro de figuras como las Regiones Hidrográficas, nombre propio dado por la ley a las unidades espaciales, correspondientes a un territorio muy extenso, que integra varias cuencas hidrográficas contiguas, donde encontramos una diversidad de ecosistemas que son objeto de protección (artículo 2 de la Ley de Aguas 2007). Las Regiones Hidrográficas, al contener las cuencas hidrográficas, se convierten en el espacio esencial de protección de los principales ecosistemas fluviales.

Otro aspecto que es necesario tomar en cuenta es la declaración del acceso al agua como un derecho fundamental, consagrado primeramente por la ley de Aguas (2007) y posteriormente sancionado como tal por las Naciones Unidas, (Resolución 64/292, 28 de julio, 2010), que obligan a la conservación y al saneamiento de los cuerpos de agua, a fin de garantizar el ejercicio pleno de este derecho. A lo anterior agrega que en resolución tomada por la asamblea general de naciones unidas, (17 de diciembre de 2015, signada con el N° A/RES/70/169), se separan el derecho al Agua y el derecho al saneamiento, como dos derechos separados, autónomos y distintos. Tales normas obligan a la República Bolivariana de Venezuela, a desarrollar políticas dirigidas a la preservación de los ecosistemas fluviales, de modo que nuestras normas se ajusten al aseguramiento de este derecho. Con la entrada en vigencia de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999), y posteriormente la Ley de Aguas (2007), nuevas normas rigen la pro-

tección de los ecosistemas fluviales y otras fueron derogadas bien por disposición expresa de las nuevas normas dictadas y o bien en forma tácita por ser contrarias a las disposiciones constitucionales y legales dictadas. A ellas se hará referencia en el desarrollo de este artículo.

II. ANTECEDENTES

El marco jurídico regulatorio de las aguas en Venezuela estuvo principalmente contenido en las disposiciones del Código Civil de 1942 y en leyes especiales, como la Ley Forestal de Suelos y de Aguas de 1966, el reglamento de esta ley, cuya última reforma se produjo en 1997, con la aparición en el país del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR) y por normas reglamentarias dictadas con posterioridad como el Decreto 1.400 de 1996, que contiene las normas regulatorias y para el control del aprovechamiento de los recursos hídricos (Tabla 1).

La Constitución Nacional (CN) de 1961, estableció disposiciones fundamentales respecto a la administración, uso y aprovechamiento de las aguas, puesto que atribuyó al Estado “la defensa y conservación de los recursos naturales”, dejando claramente establecido “que su explotación estará dirigida primordialmente al beneficio colectivo de los venezolanos” (artículo 106 CN). Igualmente atribuye a los poderes nacionales; “la conservación fomento y aprovechamiento del agua” (art. 136 ordinal 10 CN) y de “la producción agrícola” (art. 136 ord. 18 CN) y reserva al Congreso Nacional la decisión en materia de “concesiones sobre recursos naturales” (art. 126 CN). La Constitución prevé además la posibilidad de transferir estas competencias a los estados o a los municipios, a través del proceso de descentralización administrativa (art. 137 CN).

El Código Civil de 1942 contiene normas que provienen desde la época colonial. El régimen de las aguas establecido en el Código Civil faculta a los usuarios para realizar actividades de cualquier orden y regula las relaciones entre usuarios; mientras los conflictos no requieran la intervención del Estado para racionalizar el aprovechamiento. El Código Civil declara del dominio público; los ríos, lagos y lagunas (art. 539 CC) y del dominio privado o de los particulares; los manantiales, arroyos y aguas subterráneas (arts. 549 y 650-656 CC).

El Código Civil define al agua corriente o a los acueductos como bienes inmuebles por su naturaleza (art. 527), establece las limitaciones a la propiedad referidas al curso del agua (arts. 644-647), señala como conciliar las controversias que se susciten sobre el uso de las aguas (655), la protección de bosques y ríos (art. 657), el derecho de acueducto (arts. 666-682), servi-

Tabla 1. Registro histórico de leyes, códigos y decretos ambientales en Venezuela.

	Antecedentes	leyes Vigentes
1	Constitución Nacional. Vigente desde enero de 1961 hasta diciembre de 1999 Código Civil Venezolano Artículos 539, 549, 650-656, 527, 644-647, 655, 657, 666-682, 712-714, 716-718, 726-728, 739, 735-747, Vigentes desde 1942 hasta 1999	Constitución de la República Bolivariana de Venezuela 1999
2		Constitución de la República Bolivariana de Venezuela 1999 Ley de Aguas 2006
3	La Ley de Reforma Agraria 1960	Ley de Tierras y Desarrollo Agrícola 2010
4	Ley Forestal de Suelos y de Aguas Vigente desde 1966 hasta 2006	Ley de Aguas 2006
5	Ley Orgánica del Ambiente Vigente desde 1976 hasta 2007	Ley Orgánica del Ambiente 2007
6		Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio 1983
7	Ley Penal del Ambiente Vigente desde 1992 hasta 2012	Ley Penal del Ambiente 2012
8	Ley de Diversidad Biológica Vigente desde 2000 hasta 2008	Ley de Gestión de la Diversidad Biológica 2008
9	Decreto 2.224. Normas para descargar las descargas de vertidos líquidos a los cuerpos de agua. Vigente desde 1992 hasta 1995 (modificado parcialmente por el Decreto 125 de 1995)	Decreto N° 883. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos 1995
10	Decreto 2.212. Reglamento de la Ley Orgánica del Ambiente sobre Estudios de Impacto Ambiental. Vigente desde 1992 hasta 1996	Decreto 1.257. Normas sobre evaluación ambiental de actividades susceptibles de degradar el ambiente. 1996
11	Decreto 1.400 Normas sobre la Regulación y el Control del Aprovechamiento de los Recursos Hídricos y de las Cuencas Hidrográficas. 1996	Ley de Aguas 2006

dumbres (arts. 712-714, 726-728), los turnos (arts. 716-718, 739) y a las sociedades de usuarios (arts. 735-747) (Meaño 1979).

La ley Forestal de Suelos y Aguas de 1966 y su reglamento, que rigen la conservación, fomento y aprovechamiento del agua y de otros recursos naturales renovables, contiene un título específico acerca de las aguas (arts. 88-95), donde se refiere principalmente al régimen de concesiones y los Jurados de Aguas, que hoy está derogado. La Ley de Reforma Agraria de 1960, que regula el uso y goce del agua para la reforma agraria (arts. 41-51), ordena levantar el catastro de tierras y aguas (arts. 52-56), trata la conservación de los recursos naturales renovables (arts. 119-124), la realización de obras de riego, drenaje y demás de aprovechamiento hidráulico (arts. 180-189). La también derogada Ley Orgánica del Ambiente de 1976 contiene normas relativas a la conservación ambiental, que tuvieron incidencia sobre el recurso agua, en cuanto a su conservación y aprovechamiento sostenible.

Esta ley señala que: la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente comprenderá entre otras actividades: El fomento de iniciativas públicas y privadas que estimulen la participación ciudadana en los problemas relacionados con el ambiente (art. 3, ord. 8), lo cual se materializará con la promoción para la creación de Juntas para la Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente (art. 15 ord. 5). En esta ley se consideran actividades susceptibles de degradar el ambiente (art. 20): La contaminación del agua (ord. 1), y las alteraciones nocivas del flujo natural de las aguas (ord. 3). En caso que estas actividades se consideren necesarias, en cuanto reporten beneficios económicos y se pueda reparar su efecto, podrán ser permitidas con las condiciones y limitaciones necesarias.

La Ley Penal del Ambiente (1992) tipifica como delitos y sanciona: la degradación, envenenamiento, contaminación y demás acciones o actividades capaces de causar daños a las aguas, por ejemplo, vertidos

ilícitos (art. 28), cambios de flujo o sedimentación (art. 30), daños a las defensas de las aguas (art. 33). Esta ley fue derogada por la Ley Penal del ambiente del año 2012. Es importante señalar que el Decreto 1.400 (1996), contentivo de las normas sobre la Regulación y el Control del Aprovechamiento de los Recursos Hídricos y de las Cuencas Hidrográficas, pretendió llenar el vacío existente ante la carencia de una ley de aguas. Fundamentado en leyes vigentes, como la Orgánica del Ambiente, la de Ordenación del Territorio y la Forestal de Suelos y Aguas, estableció regulaciones relacionadas con la planificación, la administración, el aprovechamiento y la protección de los recursos hídricos, los relativos a las autorizaciones y concesiones, incluyendo en sus regulaciones a las cuencas hidrográficas y las Áreas Bajo Régimen de Administración Especial relacionadas con ellas, para de este modo proteger los ecosistemas acuáticos en general y los ecosistemas fluviales en particular.

Lo anterior reseña entonces, como el ordenamiento jurídico nacional ha ido evolucionando y expandiéndose en su ámbito de aplicación, como ocurre con todo el derecho ambiental, también en lo que se refiere al establecimiento de normas para los ecosistemas fluviales, de forma de adaptarse a los avances permanentes que ocurren, insoslayablemente, por el desarrollo científico y tecnológico. Como se ha señalado, muchas de estas normas han sido derogadas, precisamente como parte de ese proceso de adecuación de nuestro ordenamiento jurídico. (Tabla 1).

III. NORMAS VIGENTES PARA LA PROTECCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS FLUVIALES

1. Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999)

Tal como se ha señalado, la Constitución no hace una referencia expresa y literal a los ecosistemas fluviales, aunque si son mencionados en un escaso pero suficiente número de normas, de las cuales se puede deducir la necesidad y el deber de protegerlos. Una aproximación a esto se encuentra en el artículo 11 referido al ejercicio de la soberanía, que señala que la misma se ejerce en los espacios fluviales (entre otros), y sobre los recursos que en ellos se encuentran, incluidos los genéticos, los de las especies migratorias, sus productos derivados y los componentes intangibles. Estos elementos se pueden hallar en el concepto de ecosistema fluvial, sobre el cual el Estado ejerce soberanía y conectándolo con la norma que luego se comentará, que obliga el estado a protegerlos, encontramos entonces una de las disposiciones regulatorias de la conservación de los ecosistemas fluviales. El artículo 127 constitucional, establece el mandato que

dirigido al Estado, por el cual tiene el deber de proteger el ambiente, los procesos ecológicos y las demás áreas de importancia ecológica, lo que presupone que incluye también los ecosistemas fluviales, en tanto que las aguas y demás componentes del ambiente, deben ser igualmente protegidos, tal como lo indica la misma norma, que señala que esta es una obligación fundamental del estado, con la activa participación de la sociedad.

En materia de aguas específicamente, señala el texto constitucional, en el artículo 304 que todas las aguas son bienes de dominio público de la nación, insustituibles para la vida y el desarrollo, que la ley establecerá las disposiciones necesarias a fin de garantizar su protección, aprovechamiento y recuperación, respetando las fases del ciclo hidrológico y los criterios de ordenación del territorio. De esta norma se comprende entonces que los ecosistemas fluviales, como espacios fundamentales para la conservación de las aguas, deben ser protegidos y que una ley especial, que hoy es la Ley de Aguas (2007), debe establecer las normas para su protección y aprovechamiento, que entendemos tiene que ser sustentable y que a su vez, contribuyen con el ciclo hidrológico, cuyo respeto exige la Constitución. En referencia a las políticas públicas y legislación en materia de conservación, fomento y aprovechamiento de los bosques, suelos, aguas y otras riquezas naturales, la Constitución indica que es materia reservada al Poder Nacional, por lo que corresponde al Poder Ejecutivo establecer y adelantar las políticas públicas y al Poder Legislativo, dictar las correspondientes leyes que regulen la materia.

2. Ley Orgánica del Ambiente (2006)

La Ley Orgánica del Ambiente, tiene por objeto establecer las disposiciones y los principios rectores para la gestión del ambiente, en el marco del desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental del Estado y de la sociedad, para contribuir a la seguridad y al logro del máximo bienestar de la población y al sostenimiento del planeta, en interés de la humanidad (art. 1). Esta ley está llamada a establecer los principios rectores de la gestión ambiental, dentro del ámbito de las competencias atribuidas a los entes y órganos responsables de dicha gestión. Dentro de las acciones y medidas que deben llevarse a cabo dentro de la gestión del ambiente, se tiene el mejoramiento, la restauración, preservación, protección y vigilancia de los ecosistemas (art. 2), debiendo entenderse que ello incluye los ecosistemas fluviales. Igualmente, se señala que dentro de los objetivos que deben cumplirse, bajo la rectoría de la autoridad nacional ambiental, se encuentra el elaborar y desarrollar estrategias para remediar y restaurar los ecosistemas degradados (art.

10), por lo que debe haber una especial atención sobre aquellos hayan sufrido deterioros, tanto por la acción de la misma naturaleza como por las actividades antrópicas. El mejoramiento de los ecosistemas, incluidos los fluviales, es una corresponsabilidad entre el estado y la sociedad, que a través de sus acciones específicas deben alcanzar condiciones que aseguren el desarrollo y el máximo bienestar de los seres humanos, según el artículo 12.

La Ley Orgánica del Ambiente, también prevé la figura de los denominados ecosistemas de importancia estratégica, cuya declaratoria se atribuye a la Autoridad Nacional Ambiental, para aquellos espacios del territorio nacional en los cuales existan comunidades de plantas y animales, que por sus componentes representen gran relevancia para la seguridad agroalimentaria; entre otras necesidades, así como para conservación de especies; para la investigación científica la utilización sostenible de los componentes de la diversidad biológica; y otras de interés al bienestar colectivo (art. 46).

Por otra parte, la Autoridad Nacional Ambiental, también está facultada para prohibir o restringir, de manera total o parcial, aquellas actividades que involucren ecosistemas de cualquier tipo, ante la inminencia de impactos ambientales negativos, en virtud del principio de protección (art. 47). Se hace igualmente mención a los ecosistemas frágiles, que de acuerdo a la ley que se comenta, deben ser objeto de medidas especiales de protección, las cuales serán dictadas por la Autoridad Nacional Ambiental y ejecutadas por ella o por quien esta ordene (art. 48).

Por lo que se refiere al aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y de la diversidad biológica en las cuencas hidrográficas y demás ecosistemas, el mismo deberá someterse a los contenidos y disposiciones de los respectivos planes de manejo, los cuales de acuerdo a la ley, deberán ser objeto de formulación e implementación, lo que compete tanto a la Autoridad Nacional Ambiental y a otros órganos de la administración ambiental, así como responsables de tales aprovechamientos (art. 49). La Autoridad Nacional Ambiental además deberá adoptar las medidas orientadas a restablecer, mejorar, recuperar y restaurar estos ecosistemas y la diversidad biológica (art. 54).

En cuanto a la gestión de las aguas y el aseguramiento y la sustentabilidad del ciclo hidrológico, que como ya se comentó al hacer referencia a las normas constitucionales, requiere la adecuada conservación de los ecosistemas, señala la ley que a tales efectos se deberán conservar los suelos, áreas boscosas, formaciones geológicas y capacidad de recarga de los acuíferos (art. 56). La ley señala además en el artículo 57 aspectos que deberán tenerse en cuenta para garantizar la calidad de las aguas, lo que implica la conservación de los ecosistemas en que ellas se encuentran.

La Ley Orgánica del Ambiente, considera como actividades con capacidad de degradar el ambiente, las que contaminen o deteriore las aguas, las que produzcan alteraciones nocivas del flujo natural y sedimentación en los cursos de agua y que alteren sus dinámicas físicas, químicas y biológicas y en general las que alteren y generen cambios negativos en los ecosistemas de especial importancia (art. 80). Estas actividades quedan sujetas a la obligación de elaborar y presentar el correspondiente estudio de impacto ambiental (EIA), en cumplimiento de lo señalado por el artículo 129 constitucional, que deberá realizarse, en los términos que señale la ley.

En definitiva, se observa como en la Ley Orgánica del Ambiente, si bien no hay normas que de manera expresa se refieran a los ecosistemas fluviales, cuando hace la referencia general a los ecosistemas, sin hacer distinción de su tipo, permite deducir que sus normas resultan perfectamente aplicables a los ecosistemas fluviales, debiendo ser acatadas por las autoridades responsables de su ordenación y manejo.

Debe tenerse en cuenta que la Ley Orgánica del Ambiente es la ley marco para la protección ambiental, por lo que sus principios deben ser observados y desarrollados por otras leyes. Además, reza en derecho el adagio según el cual, donde no distingue el legislador, no le es dado distinguir al intérprete, por lo que al no haber distingo entre los ecosistemas a los que se refiere la ley, debe entenderse entonces que sus normas resultan aplicables a todos ellos, lo que incluye a los ecosistemas fluviales. Esto es un punto de gran interés para la conservación de los ríos.

3. Ley Orgánica Para la Ordenación del Territorio (1983)

Es, al igual que la Ley Orgánica del Ambiente, una ley marco, que debe establecer principios rectores, que en este caso regulan la materia de la ordenación del territorio. En ella se hace expresa referencia a elementos de la gestión integral de los ecosistemas, pero de forma especial al uso adecuado de los espacios, de acuerdo a las realidades, geográficas, poblacionales, sociales, culturales, económicas y políticas. La ley entiende por ordenación del territorio la regulación y promoción de la localización de los asentamientos humanos, de las actividades económicas y sociales de la población, así como el desarrollo físico espacial, con el fin de lograr una armonía entre el mayor bienestar de la población, la optimización de la explotación y uso de los recursos naturales y la protección y valorización del medio ambiente, como objetivos fundamentales el desarrollo integral (art. 2). El objetivo de

esta ley es establecer las disposiciones que regirán el proceso de ordenación del territorio en concordancia con la estrategia de desarrollo económico y social a largo plazo de la nación (art. 1), a lo que hoy hay que agregar, bajo las premisas del Desarrollo Sustentable, en los términos del artículo 128 de la Constitución. Es importante destacar del concepto la armonía que debe haber entre las actividades económicas y sociales, con el uso de los recursos naturales y la protección del ambiente, lo cual obliga a una política de aprovechamiento sostenible de los recursos, garantizando la capacidad de recuperación de los ecosistemas.

Lo anterior lleva a reconocer los instrumentos establecidos en la ley para la ordenación del territorio, concretamente los planes que la misma ley prevé para lograr este objetivo. Específicamente la ley señala el Plan Nacional de Ordenación del Territorio en el artículo 9, que indica entre los espacios a incluir en el plan, la localización del aprovechamiento de los recursos hidráulicos, que implica la ocupación de ecosistemas fluviales y que, como ya se ha dicho debe hacer en armonía con las realidades ecológicas y con la protección del ambiente. Al referirse a las Áreas bajo Régimen de Administración Especial, menciona la ley los ecosistemas fluviales, no solo cuando se refiere de manera general a las Zonas Protectoras, sino cuando hace mención a otros espacios, que así deben ser declarados por el Ejecutivo Nacional, a los fines de su conservación y aprovechamiento sostenible. La ley de Aguas (2007) define la extensión y condiciones a las que están sujetos estos espacios. Es el caso de las planicies inundables, compuestas por aquellos espacios del territorio nacional, adyacentes a los cursos de aguas superficiales y que pueden llegar a ser ocupados por los excesos de aguas cuando se desbordan de sus cauces naturales.

Igualmente refiere la Ley a las Reservas Nacionales Hidráulicas, compuestas por los territorios en los cuales estén ubicados cuerpos de agua, naturales o artificiales que por su naturaleza, situación o importancia justifiquen su sometimiento a un régimen de administración especial. También puede incluirse en estas categorías, las Áreas Críticas con Prioridad de Tratamiento, que están integradas por aquellos espacios del territorio nacional que dadas sus condiciones ecológicas, requieren ser sometidas con carácter prioritario a un plan de manejo, ordenación y protección.

Estos espacios pueden estar compuestos por ecosistemas fluviales, que se encuentren en situación crítica en cuanto su conservación y aprovechamiento y que requieren del tratamiento propio de las Áreas Bajo Régimen de Protección Especial. En todos estos casos, quedan establecidos mecanismos para proteger los ecosistemas fluviales y para garantizar su utiliza-

ción y aprovechamiento sustentable. Requerirán por supuesto, del cumplimiento de las exigencias propias de la ley orgánica, tales como la declaratoria previa por parte del Ejecutivo Nacional, mediante decreto y la posterior aprobación del Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso.

4. Ley Orgánica de los Espacios Acuáticos

Aprobada mediante Decreto Presidencial con Rango, Valor y Fuerza de ley N° 1.446, publicado en Gaceta Oficial Extraordinaria N° 6.153, de fecha 18 de noviembre de 2014, la Ley Orgánica de los Espacios Acuáticos tiene por objeto regular el ejercicio de la soberanía, jurisdicción y control en los espacios acuáticos, conforme al derecho interno e internacional y regular y controlar la administración de los espacios acuáticos, insulares y portuarios de la República Bolivariana de Venezuela (art. 1) y su finalidad es preservar y garantizar el mejor uso de los espacios acuáticos, insulares y portuarios (art. 2).

Al indicar su ámbito de aplicación, señala que el mismo es a los espacios acuáticos que comprenden las áreas marítima, fluvial y lacustre de la República Bolivariana de Venezuela, por lo que la norma tiene relación directa con la conservación de los ríos, lo cual se infiere de la conexión entre la preservación y buen uso de los espacios acuáticos, señalada en el artículo 2 y de la inclusión en ellos de las áreas fluviales del territorio nacional, indicada en el artículo 3.

En cuanto a las políticas acuáticas la ley se refiere a la preservación de las fuentes de agua dulce y la protección, conservación y uso sostenible de los cuerpos de agua (art. 5, numerales 23 y 25), lo que indica que el Estado debe prestar especial atención en el diseño de políticas públicas, dirigidas a garantizar el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos, que incluye a los espacios fluviales ya señalados. El legislador así lo reconoce en la exposición de motivos de la ley de 2008, cuando expresa claramente su intención, al indicar que el Estado debe preservar el mejor uso de los espacios de acuerdo con las estrategias institucionales, como parte integral del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social de la Nación, por ser quien regula el control de estos espacios, para asegurar el uso racional de los recursos y para “proveer a la humanidad de un planeta más digno con un desarrollo sostenible”. Es de hacer notar que las normas señaladas son las mismas en la ley de 2008, que en la ley vigente de 2014, por lo que se puede asumir que la intención del legislador es la misma.

En materia de ordenación y utilización sustentable de los recursos hídricos y de la biodiversidad asociada de su espacio acuático, esta es una responsabilidad del Estado, de acuerdo a lo señalado en el artículo 7 de la

ley, a lo que añade la norma que la promoción, investigación científica, ejecución y control de la clasificación de los recursos naturales, la navegación y otros usos de los recursos, así como todas las actividades relacionadas con la ordenación y su aprovechamiento sostenible, serán reguladas por la ley. A lo antes señalado se agrega el deber del Estado de promover la cooperación internacional en cuanto a las cuencas hidrográficas transfronterizas, así como el aprovechamiento de sus recursos y protección de sus ecosistemas.

En materia de órganos rectores, la Ley de los Espacios Acuáticos, atribuye la facultad al Ministerio del Poder Popular con competencia en materia de transporte acuático, que hoy es el Ministerio del Poder Popular para Transporte y Obras Públicas, en todo lo relacionado con la navegación marítima, fluvial y lacustre destinada al transporte de personas y bienes, a la pesca, al turismo, al deporte, a la recreación y a la investigación científica, aquí se incluye lo relacionado a la materia portuaria, y cualquier otra que señale la ley (art. 71).

La ley además establece como ente de gestión al Instituto Nacional de los Espacios Acuáticos, organismo con personalidad jurídica y patrimonio propio, que tendrá la responsabilidad de gestionar las políticas acuáticas que dicte el organismo rector (art. 72). Este Instituto Autónomo, ejercerá la autoridad y la administración acuática, de conformidad con la ley (art. 73, numerales 1 y 2). Al referirse a la administración acuática, se establece que esta comprenderá entre otras materias, la supervisión y control de los vertidos y otras sustancias contaminantes que puedan afectar los espacios acuáticos y portuarios, en coordinación con los Ministerios del Poder Popular con competencia en materia de ambiente y seguridad y defensa, en el ámbito de las jurisdicciones acuáticas (art. 74, numeral 15).

El Ministerio del Poder Popular con competencia en ambiente, también integra el directorio del consejo nacional de los espacios acuáticos, que es el organismo asesor del Ejecutivo Nacional en materia de fomento y desarrollo de la marina mercante, puertos, industria naval, el desarrollo de los canales de navegación en ríos y lagos, la investigación científica y tecnológica del sector acuático, la formación, capacitación, actualización y certificación del talento humano de dicho sector (art. 81 y 82). De lo antes expuesto se desprende que lo que debe ser una competencia de la Autoridad Nacional Ambiental, vale decir el hoy Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas, como es el control de los vertidos a los cuerpos de agua, la ejerce el Ministerio del Poder Popular para Transporte y Obras Públicas, coordinación con el Ministerio con competencia en ambiente, lo que mo-

difica la regla general de la gestión ambiental. Igualmente, se puede observar como la ley no hace mayores menciones al Ministerio del Ecosocialismo, que debe ser considerado como la Autoridad Nacional Ambiental, habida cuenta que la ley establece objetivos de conservación de los espacios acuáticos, de acuerdo a lo ya señalado, lo cual más que coadyuvar, interfiere en la responsabilidad de la gestión ambiental de los ríos y las cuencas hidrográficas. Finalmente, es necesario destacar que esta no ley no tiene como objetivo principal la conservación de los ríos y cuencas hidrográficas, sino que su énfasis está en el ejercicio de la soberanía y la utilización de los espacios acuáticos, con especial referencia a los espacios marinos, estableciendo normas sobre componentes propios del derecho internacional público, como el mar territorial, la zona marítima exclusiva y la plataforma continental, entre otros. La referencia a los ríos destaca puesto que son espacios acuáticos que son objeto de la ley y que como elementos naturales y reservorios de biodiversidad, requieren de normas para su conservación y aprovechamiento sostenible.

5. Ley de Aguas (2007)

El objeto de esta ley es establecer las disposiciones que rigen la gestión integral de las aguas, como elemento indispensable para la vida, el bienestar humano y el desarrollo sustentable del país, y es de carácter estratégico e interés de Estado (art. 1). La ley señala que la gestión integral de las aguas comprende el conjunto de actividades de índole técnica, científica, económica, financiera, institucional, gerencial, jurídica y operativa, dirigidas a la conservación y aprovechamiento del agua en beneficio colectivo, considerando las aguas en todas sus formas y los ecosistemas naturales asociados, las cuencas hidrográficas que las contienen, los actores e intereses de los usuarios o usuarias, los diferentes niveles territoriales de gobierno y la política ambiental, de ordenación del territorio y de desarrollo (art. 3). Al ser las aguas declaradas como del dominio público, de conformidad con el artículo 304 de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, la ley desarrolla este concepto en el artículo 6, señalando que son bienes del dominio público de la nación:

- Todas las aguas del territorio nacional, sean continentales, marinas e insulares, superficiales y subterráneas.
- Todas las áreas comprendidas dentro de una franja de ochenta metros (80 m) a ambas márgenes de los ríos no navegables o intermitentes y cien metros (100 m) a ambas márgenes de los ríos navegables, medidos a partir del borde del área ocupada por las

crecidas, correspondientes a un período de retorno de dos coma treinta y tres (2,33) años.

Como lo señala Brewer-Carías (2006) “...el sentido de una declaratoria general de las aguas como bienes del dominio público... (*omissis*), es el de situar a las aguas fuera del ámbito de los bienes susceptibles de propiedad privada, mediante su afectación legal al uso público; y no el de atribuir al Estado una propiedad sobre las aguas en el sentido civilista. Esta declaratoria de las aguas como del dominio público, se insiste, no representa un simple cambio de titulación de la propiedad de determinados bienes de los particulares en favor del Estado, sino la afectación al uso público de las aguas, para asegurar que su explotación y aprovechamiento esté dirigido primordialmente al beneficio colectivo de los venezolanos.”

La declaración de las aguas como bienes del dominio público consagrada por la Constitución y por la ley de Aguas, confirma que las mismas no pueden ser objeto de comercio o transacción mientras están en sus ecosistemas y solo puede ocurrir esto una vez sea autorizada su extracción, en los términos señalados por la ley. Tampoco pueden ser objeto de adquisición por negociaciones de ningún tipo, no se pueden usar como garantía para el pago de deudas, ni adquirir su propiedad por el transcurrir del tiempo, a través de la figura de la prescripción adquisitiva, prevista en el Código Civil. La ley agrega que quedan a salvo los derechos adquiridos por los particulares con anterioridad a la entrada en vigencia de la misma.

Criterios para garantizar disponibilidad en cantidad: A fin de asegurar la disponibilidad de las aguas en los ecosistemas en que ellas se encuentran, incluidos los ecosistemas fluviales, la ley señala en el artículo 11, que los organismos competentes de su administración y los usuarios y usuarias deberán ajustarse a los siguientes criterios:

- 1) La realización de extracciones ajustadas al balance de disponibilidades y demandas de la fuente correspondiente.
- 2) El uso eficiente del recurso.
- 3) La reutilización de aguas residuales.
- 4) La conservación de las cuencas hidrográficas.
- 5) El manejo integral de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas.
- 6) Cualesquiera otras que los organismos competentes determinen en la normativa aplicable.

En este mismo sentido, el artículo 12 de la ley, establece que las formas de control y manejo de los cuerpos de agua, serán las que a continuación se mencionan. Se realizará mediante:

- 1) La clasificación de los cuerpos de agua o sectores de estos.
- 2) El establecimiento de rangos y límites máximos de elementos contaminantes.
- 3) El establecimiento de condiciones y medidas para controlar el uso de agroquímicos y otras fuentes de contaminación.
- 4) La elaboración y ejecución de programas maestros de control y manejo del cuerpo de agua.

Con estas normas se busca proteger el aprovechamiento que puedan hacerse de los cuerpos de agua, así como establecer que se fijaran por vía de normas técnicas los límites máximos de sustancias contaminantes que poder ser vertidos, así como el control del uso de los agroquímicos, que suelen encontrar su disposición final en cuerpos de agua, como ríos, lagos y lagunas. Es por ello que los generadores de efluentes deben adoptar las medidas necesarias para minimizar la cantidad y mejorar la calidad de sus descargas de conformidad con las disposiciones establecidas en la propia ley y demás normativas que se desarrollen para tal fin (art. 13).

En cuanto a las figuras y unidades creadas por la ley de Aguas, a los fines de alcanzar la gestión integral, están las Regiones Hidrográficas y las Cuencas Hidrográficas, establecidas para las aguas superficiales y las Provincias y Cuencas Hidrogeológicas, para las aguas subterráneas, consideradas como unidades especiales de referencia para la organización institucional y el manejo de las aguas. Las Regiones Hidrográficas y las Cuencas Hidrográficas, son las señaladas en el artículo 17 de la ley, las cuales a su vez están compuestas por las cuencas de los ríos y cuerpos de agua en ella señalados. En virtud de su composición, se considera importantes señalarlas en su totalidad, para comprender el conjunto de ecosistemas fluviales que las integran. (Tabla 2).

Es importante destacar que la ley de aguas considera la Cuenca Hidrográfica como la unidad básica de gestión del recurso agua y la define como la “unidad territorial delimitada por las líneas divisorias de aguas superficiales que convergen hacia un mismo cauce”, y que “conforman espacios en el cual se desarrollan complejas interacciones e interdependencias entre los componentes bióticos y abióticos, sociales, económicos y culturales, a través de flujo de insumos, información y productos” (art. 3). Es así como la ley señala que la conservación de las cuencas hidrográficas será mediante la implementación de programas, proyectos y acciones dirigidas al aprovechamiento armónico y sustentable de los recursos naturales.

En cuanto a las provincias y a las cuencas hidrogeológicas, como unidades especiales para el manejo

de las aguas subterráneas, la ley remite al reglamento lo relativo a la delimitación y otras características de las provincias y cuencas hidrogeológicas. A la fecha de preparación de este trabajo, el reglamento de la ley de Aguas no ha sido dictado. La ley también desarrolla el concepto de Áreas Bajo Régimen de Administración Especial, en los artículos 53 y siguientes, señalando que se constituyen en esta figura, para la gestión integral de las aguas los siguientes espacios geográficos:

- 1) Las Zonas Protectoras de los cuerpos de agua (usualmente embalses).
- 2) Las reservas hidráulicas.
- 3) Los Parques Nacionales, Monumentos Naturales, Refugios de Fauna Silvestre y Reservas Forestales, entre otras figuras jurídicas que constituyan reservorios tanto de aguas superficiales como subterráneas.

En cuanto a las zonas protectoras de cuerpos de agua, su objetivo es proteger áreas sensibles de las cuales depende la permanencia y calidad del recurso y la flora y fauna silvestre asociada, vale decir, los componentes de dichos ecosistemas. De acuerdo a la ley se declaran como zonas protectoras de cuerpos de agua:

- 1) La superficie definida por la circunferencia de trescientos metros (300 m) de radio en proyección horizontal con centro en la naciente de cualquier cuerpo de agua.
- 2) La superficie definida por una franja de trescientos metros (300 m) a ambas márgenes de los ríos, medida a partir del borde del área ocupada por las crecidas correspondientes a un período de retorno de dos coma treinta y tres (2,33) años.
- 3) La zona en contorno a lagos y lagunas naturales, y a embalses construidos por el Estado, dentro de los límites que indique la reglamentación de esta ley.

Las reservas hidráulicas están definidas por la ley como aquellas que compuestas por los territorios en los cuales estén ubicados cuerpos de agua naturales o artificiales, que por su naturaleza, situación o importancia justifiquen su sometimiento a un régimen de administración especial. La ley no desarrolla las figuras los Parques Nacionales, Monumentos Naturales, Refugios de Fauna Silvestre y Reservas Forestales, como si lo hace con las Zonas Protectoras y las Reservas Hidráulica, pero agrega que el reglamento de la ley de Aguas, establecerá los requisitos que deben reunir los espacios a ser afectados como Áreas Bajo Régimen de Administración Especial para la gestión integral de las aguas, relevantes para tal fin, así como los líneame-

mientos para su manejo. Así, hay mecanismos de protección para los ecosistemas fluviales, al señalar el espacio conformado por las Zonas Protectoras en los márgenes de los ríos, al igual que en la definición que hace la ley de las Reservas Hidráulicas, cuya afectación deriva de su naturaleza, situación o importancia, teniendo en cuenta su conservación.

En otro orden de ideas, la ley de Aguas establece la clasificación de usos para el control administrativo, lo que implica el establecimiento de limitaciones a las actividades, ya que la autoridad podrá controlar la utilización de los recursos, de acuerdo con las características propias de los ecosistemas y de acuerdo con los planes de conservación, administración o manejo de esos espacios. Estos usos son los siguientes:

- 1) Usos no sujetos al cumplimiento de formalidades especiales según esta ley tales como los domésticos para bañarse, abrevar ganado y para la navegación, así como usar y almacenar las aguas pluviales que precipiten en sus predios, los que podrán desarrollarse libremente, sin la intervención de la autoridad competente. Para ello la ley exige que se hagan sin detener ni cambiar el curso de las aguas, evitando deteriorar su calidad o afectar su caudal, así como sin excluir a otros del ejercicio de su derecho y cumpliendo con la legislación ambiental, sanitaria, pesquera y de navegación.
- 2) Usos con fines de aprovechamiento sujetos a la tramitación de concesiones asignaciones y licencias:
 - a) Abastecimiento a poblaciones.
 - b) Agrícolas.
 - c) Actividades industriales.
 - d) Generación de energía hidroeléctrica.
 - e) Comerciales.

En cuanto a las concesiones, asignaciones y licencias, estas requieren de la intervención de la Autoridad Nacional Ambiental y están diferenciados por ley, según el sujeto requirente o al tipo de actividad para la cual será utilizado el recurso. Serán sujetos al otorgamiento de una concesión o asignación: a) Los usos con fines de aprovechamiento de aguas para generación hidroeléctrica y b) los usos para actividades industriales y comerciales. Las concesiones solo podrán otorgarse por 20 años, plazo que podrá ser prorrogable por requerimiento del interesado y con la aprobación de la Autoridad Nacional Ambiental.

Las asignaciones de aprovechamiento están previstas para los órganos y entes de la Administración Pública Nacional, para las cuales deben solicitarse ante el ministerio que ejerza la autoridad nacional de las aguas, los volúmenes de agua necesarios para el cum-

Tabla 2. Regiones hidrográficas y cuencas hidrográficas (incluyendo sus principales ríos) en Venezuela, según la ley de Aguas (2007).

Regiones hidrográficas		Cuencas hidrográficas (ríos)
1	Lago de Maracaibo y Golfo de Venezuela	Carraipía-Paraguachón, Limón, Palmar, Apón, Santa Ana, Catatumbo, Escalante, Chama, Motatán, Machango y Chiquito.
2	Falconiana	Matícora, Hueque, Ricoa, Mitare y Capatárida.
3	Centro Occidental	Tocuyo, Aroa, Yaracuy y los que drenan al litoral del estado Carabobo.
4	Lago de Valencia	Aragua, Limón, Turmero, Maracay, Carabobo, Cabriales y Las Minas.
5	Central	Tuy, Guapo, Cúpira, Capaya y las que drenan al litoral de los estados Vargas, Miranda y Aragua.
6	Centro Oriental	Unare, Zuata, Pao, Aragua, Manapire, Aracay, Cabrutica, Aribí y Caris.
7	Oriental	Neverí, Carinicuao, Manzanares, Amana, Guarapiche y San Juan, y las que drenan al litoral del estado Sucre y las del estado Nueva Esparta.
8	Llanos Centrales	Guárico, Guarquito y Tiznados.
9	Llanos Centro Occidentales	Cuencas hidrográficas del río Portuguesa.
10	Alto Apure	Uribante, Maspalito, Sarare, Santo Domingo, Pagüey, Suripa y Alto Apure hasta la desembocadura del río Sarare.
11	Bajo Apure	Apure, Arauca, Capanaparo, Cinaruco, Meta, Matiure y Caño Guaritico.
12	Amazonas	(Alto Orinoco) Brazo Casiquiare, Ventuari, Ocamo, Sipapo, Cunucunuma, Atabapo y Guainía.
13	Caura	Caura: Cuencas hidrográficas de los ríos Caura, Suapure, Cuchivero y Aro.
14	Caroní	Caroní.
15	Cuyuní	Yuruari y Yuruani.
16	Delta	(Bajo Orinoco) Morichal Largo, Uracoa, Mánamo y Macareo.

plimiento de sus atribuciones. Este organismo es hoy es el Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas. Las Licencias están previstas en la ley para usos de aguas en fuentes superficiales y subterráneas con fines de abastecimiento a las poblaciones, usos agrícolas y usos recreacionales sin fines de lucro. Para todos estos casos en que se requiere la intervención del Poder Público Nacional, será necesario que se dicte el correspondiente acto administrativo, mediante el cual el Ministerio del Poder Popular que ejerza la autoridad nacional de las aguas, además de otorgar su consentimiento afirmativo, deje establecidas las condiciones bajo las cuales se aprovechará el recurso, incluyendo acciones necesarias para la conservación de los ecosistemas.

Otro aspecto relevante con la conservación de los cuerpos de agua, es el establecimiento de infracciones y sanciones administrativas, según en el Título VI de la ley (artículo 106 y siguientes), para aquellas conduc-

tas que contravienen sus disposiciones. Así, el Poder Nacional podrá a través de sus órganos competentes:

- Declarar la nulidad de los actos otorgados en contravención a la ley.
- Establecer la responsabilidad civil, penal y administrativa de funcionarios.
- Acordar medidas preventivas, correctivas o mitigantes.
- Decretar la ocupación temporal, total o parcial de las fuentes contaminantes.
- Declarar la clausura temporal o definitiva de las instalaciones o establecimientos.
- Prohibir, temporal o definitivamente las actividades contrarias a la ley.
- Ordenar la recolección almacenamiento o destrucción de los agentes contaminantes, contaminados o peligrosos, esto a costa del infractor.
- Obligar a la remisión al medio natural de los recur-

sos o elementos extraídos, sin haber cumplido las exigencias de la ley.

- Exigir la efectiva reparación del daño causado, igualmente a costa del infractor, y
- Cualquier otra medida tendiente a corregir y reparar los daños

En caso que se produzca la reincidencia en la comisión de estas infracciones, la misma será sancionada con multa aumentada en un cincuenta por ciento (50%) de la originalmente aplicada. En cuanto a las infracciones sometidas a sanción, estas son:

- Degradación del medio físico o biológico.
- Uso sin concesión, asignación o licencia.
- Violación de condiciones de aprovechamiento.
- Actividades prohibidas en zonas protectoras.
- Perforación no autorizada de pozos.
- Violación de condiciones de vertido.
- Incumplimiento de controles de calidad de aguas.
- Fallas en la notificación o control de vertidos.
- Cualquier otra violación a las disposiciones contenidas en las concesiones, asignaciones y licencias.

Las sanciones de multa previstas en esta ley se aumentarán al doble en los siguientes casos: agotamiento de cualquier fuente de agua por sobreexplotación, contaminación de acuíferos o de fuentes superficiales, contaminación por vertido de sustancias materiales o desechos peligrosos, usos que afecten o pongan en riesgo el suministro de agua o poblaciones y suministro de información falsa. Finalmente señala la ley que en casos de comisión de delitos, se aplicarán las disposiciones de la Ley Penal el Ambiente y que las sanciones no prescriben en el tiempo.

6. Ley de Canalización y Mantenimiento de las Vías de Navegación

Esta ley fue aprobada mediante Decreto Presidencial N° 6.220 y publicado en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, N° 5.891 Extraordinario de fecha 31 de julio de 2008. La ley tiene por objeto regular las actividades relacionadas con el desarrollo, conservación, inspección, administración, canalización y mantenimiento de las vías de navegación y es aplicable a los espacios acuáticos y vías de navegación que requieran de dragado, señalización, intervención hidráulica y mantenimiento (arts. 1 y 2). Las normas persiguen permitir el tránsito recurrente de buques y accesorios de navegación de manera eficiente, más que la conservación ambiental de los ríos navegables. Sin embargo, para garantizar esta forma de aprovechamiento del recurso hídrico, requerirá su mantenimiento y adecuada conservación, pues-

to que vendrá a regular la transformación y conservación de espacios en vías adecuadas a la navegación para garantizar la accesibilidad permanente y segura de buques y accesorios de navegación (art. 3), considerando el uso sostenible de estos recursos (art. 4). El órgano rector es igual que para los espacios acuáticos, aunque la ley haga referencia al Ministerio del Poder Popular con competencia en materia de infraestructura y transporte (art. 7), que hoy es el Ministerio del Poder Popular para Transporte y Obras Públicas.

En este orden de ideas, el ente responsable de la cuestión en las materias reguladas por esta ley de canalizaciones es el Instituto Nacional de Canalizaciones y tendrá las responsabilidades en materia de mantenimiento y conservación de las vías de navegación, que incluye los ríos navegables, de acuerdo con los objetivos establecidos en la ley (arts. 8 y 9). Incluye entre sus competencias las actividades de investigación relacionadas con las vías de navegación, en coordinación con el Ministerio del Poder Popular competente en materia de ciencia y tecnología, lo cual permite desarrollar las actividades de mantenimiento en conservación, aunque la ley no lo relaciona con los aspectos ambientales y con la diversidad biológica de los ríos. Sus principales actividades en materia de mantenimiento y conservación se centran en el dragado de los ríos, definido este por la propia ley como la “operación de limpieza de los sedimentos en cursos de agua, lagos, bahías, accesos a puertos para aumentar la profundidad de un canal navegable o de un río para aumentar la capacidad de transporte de agua, evitando así las inundaciones aguas arriba.” (art. 6).

Esta ley en su mayor parte se dedica a las funciones del Instituto Nacional de Canalizaciones, en lo relativo a la administración y ejecución de las políticas públicas para garantizar la navegación en los espacios acuáticos, estableciendo además las tasas a cobrar por el uso de los mismos. Esta ley no hace mención a las acciones de coordinación y ordenación con el ente rector en materia ambiental (Ministerio del Ecosocialismo y Aguas), aun cuando establece la intervención y manejo de espacios naturales como los ríos. Sin embargo vemos aquí una forma de coadyuvar a la conservación, a través las acciones de limpieza y aseguramiento de las tareas de mantenimiento, para asegurar la navegación de los ríos que así permiten. Esto no obsta que se consideren necesarias acciones coordinadas con el ente rector ambiental, por las razones antes expuestas y que no aparecen en la ley.

7. Ley Penal del Ambiente (2012)

La ley penal del tiene por objeto, tipificar como delitos los hechos que atentan contra los recursos naturales y el ambiente, además de imponer las sanciones

penales. La misma es aplicable a las personas naturales y jurídicas por los delitos cometidos tanto en el espacio geográfico de la República como en país extranjero, si los daños o riesgos del hecho se producen en Venezuela. El carácter sancionatorio de la misma ley, es un instrumento para proteger el ambiente y los recursos naturales, al ser considerados como bienes jurídicos protegidos, por cuanto es un elemento de disuasión a aquellas actividades capaces de degradar el ambiente. También es necesario tener presente que las sanciones en la Ley Penal del Ambiente son el arresto, la prisión, la disolución de la persona jurídica y la multa, que se consideran sanciones principales, habiendo además un conjunto de sanciones accesorias, como el cierre o clausura de la actividad degradante del ambiente, la prohibición de continuar con la actividad, la inhabilitación para contratar con el estado o de ejercer la profesión por el tiempo indicado, la reparación del daño causado en los sitios alterados, entre otras.

En materia de ecosistemas fluviales, el Capítulo V establece las sanciones a la degradación, alteración, deterioro y demás acciones capaces de causar daños a las aguas, sancionando en el artículo 56, con pena de prisión o multa, a la persona natural o jurídica que modifique el sistema de control o las escorrentías de las aguas, obstruya el flujo o el lecho natural de los ríos, o provoque su sedimentación en contravención a las normas técnicas vigentes y sin la autorización correspondiente. Igualmente, de acuerdo al artículo 58, quien utilice las aguas en forma ilícita, o en cantidades superiores a las que las normas técnicas sobre su uso racional le señalen, será sancionado con arresto o multa. Del mismo modo, si el uso ilícito o en cantidades superiores a las que hubieren sido autorizadas se realiza con motivo de la ejecución de actividades industriales, agrícolas, pecuarias, mineras, urbanísticas o cualesquiera otras de explotación económica, la sanción será de prisión o multa. El artículo 60 de la ley castiga el Surgimiento de peligro de inundación o desastre, a la persona natural o jurídica que rompiendo o inutilizando, en todo o en parte, barreras, esclusas, diques u otras obras destinadas a la defensa común de las aguas, a su normal conducción, o a la reparación de algún desastre, haya hecho surgir el mencionado peligro de inundación o de cualquier desastre. Si efectivamente se hubiere causado la inundación o desastre, se aumentará la pena de prisión, podrá declararse la disolución de la persona jurídica y la multa será elevada al doble. En todo caso se ordenará al infractor la restauración de las obras o lugares y la publicación especial de la sentencia.

En cuanto a la extracción de minerales (art. 61) podrá ser sancionada con prisión o multa, la persona

natural o jurídica que extraiga minerales no metálicos, sin la debida autorización, dentro de la zona protectora de ríos y quebradas, o si la extracción se produce a menos de mil metros (1.000 m) aguas abajo o a menos de doscientos metros (200 m) aguas arriba de puentes o de cualquier obra de infraestructura ubicada en el río o sus tributarios. La misma sanción aplica si la extracción ocurre a menos de cien metros (100 m) en el sentido lateral, a ambas márgenes del río o quebrada donde estén establecidas obras de infraestructura, y a menos de quinientos metros (500 m) aguas arriba y aguas abajo de estaciones hidrométricas o en la confluencia con tributarios. El Capítulo VII de la ley, prevé los delitos cometidos por la destrucción, alteración y demás acciones capaces de causar daño a la vegetación, la fauna o sus hábitats. Es así como el artículo 69, sanciona con prisión o multa a quien ilegalmente deforeste, tale, roce o destruya vegetación donde existan vertientes que provean de agua las poblaciones, y en el artículo 79 a quien realice prácticas de manejo o uso de tecnologías que afecten significativamente las cadenas tróficas y los procesos en los ecosistemas en general.

En materia de calidad de las aguas, en el Capítulo VIII de la ley, se prevén los delitos contra la calidad ambiental en general. En particular el artículo 83 castiga con pena de prisión o multa a la persona natural o jurídica que contamine o envenene las aguas destinadas al uso público o a la alimentación pública, poniendo en peligro la salud de las personas. Si se produce el vertido de materiales degradantes en cuerpos de agua, se prevé igualmente sanciones de prisión o multa, al que vierta o arroje materiales no biodegradables, sustancias, agentes biológicos o bioquímicos, efluentes o aguas residuales no tratadas según las disposiciones técnicas dictadas por el Ejecutivo Nacional, objetos o desechos de cualquier naturaleza en los cuerpos de aguas, sus ribерas, cauces, cuencas, mantos acuíferos y demás depósitos de agua, incluyendo los sistemas de abastecimiento, capaces de degradarlas, envenenarlas o contaminarlas (art. 84).

En cuanto a las descargas ilícitas en los ecosistemas fluviales, el artículo 88 de la ley Penal, sanciona con prisión o multa, a la persona natural o jurídica que descargue al medio, aguas residuales, efluentes, productos, sustancias o materias no biodegradables o desechos de cualquier tipo, que contengan contaminantes o elementos nocivos a la salud de las personas o al medio mismo, contraviniendo las normas técnicas vigentes. También está prevista la sanción para quien, construya obras o utilice instalaciones capaces de causar contaminación grave del medio fluvial, sin las correspondientes autorizaciones o en contravención a las normas técnicas que rigen la materia (art. 90).

Al abordar los contenidos de la ley Penal del ambiente, es necesario tener en cuenta las normas técnicas, pues a ellas hace mención la referida ley en reiteradas oportunidades. La norma técnica aplicable en materia de ecosistemas marinos, es el Decreto 883 de 1996, que contiene las normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. Esta norma desarrolla los criterios de clasificación de las descargas, los límites máximos permitidos de las descargas de elementos contaminantes a los cuerpos de agua (Tabla 3), los mecanismos de control por la Autoridad Nacional Ambiental y el régimen de adecuación para quienes excedan los límites que la norma establece. Su importancia estriba en que, tal como lo señala la ley Penal, su violación es la que configura los delitos tipificados en la ley, por lo que resultan entonces complementarias a ella. El desarrollo en extenso de sus contenidos, escapa de los límites de este trabajo.

8. Ley de Gestión de la Diversidad Biológica

La conservación y aprovechamiento sostenible de los ecosistemas fluviales aparece en el artículo 1 de la ley, señalando que la misma tiene por objeto establecer las disposiciones para la gestión de la diversidad biológica en sus diversos componentes, comprendiendo entre otros los ecosistemas presentes en los espacios fluviales, (además de otros espacios), en garantía de la seguridad y soberanía de la nación; para alcanzar el mayor bienestar colectivo, en el marco del desarrollo sustentable.

Vista la amplitud del concepto de biodiversidad mayormente aceptado y que recoge tanto el Convenio de Diversidad Biológica de 1992 y aprobado por Venezuela en 1994, como esta ley (art. 12), los ecosistemas en general y los ecosistemas fluviales en particular, forman parte del concepto de biodiversidad, en consecuencia, les son aplicables las normas relativas a su conservación y el aprovechamiento sustentable. En este sentido el artículo 10 de la ley, al referirse a la gestión de los impactos sobre los ecosistemas y los componentes de la diversidad biológica, indica que se considerarán las medidas preventivas, mitigantes, correctivas y compensatorias y el artículo 11 señala que en virtud del principio de conservación de los ecosistemas, Venezuela podrá suscribir acuerdos o convenios internacionales de reciprocidad en cuanto a la prevención y tratamiento de los daños causados a los componentes de la diversidad biológica.

De modo que se asume que el impacto de las actividades antrópicas sobre los ecosistemas, incluyendo los fluviales, puede ser objeto de acciones tanto nacionales como internacionales, a los fines de lograr el objetivo de conservación. Esto incluye las medidas

de bioseguridad, entendida esta como el conjunto de acciones o medidas de seguridad requeridas para prevenir o minimizar los efectos potenciales adversos sobre los ecosistemas, la diversidad biológica y sus componentes, resultantes de la aplicación de la biotecnología (art. 12). La ley como actividad permanente, la elaboración del inventario de biodiversidad, debiendo incluidos todos los ecosistemas del territorio nacional (art. 20). Este inventario debe estar a disposición de quien los requiera y podrá nutrirse de la información que son obligados a suministrar quienes realicen investigación o manejo de la diversidad biológica. Por lo que se refiere a la conservación “*in situ*” de la diversidad biológica y sus componentes, la misma es declarada como prioridad del Estado, con especial énfasis en la protección de ecosistemas y hábitats naturales, la rehabilitación y restauración de ecosistemas degradados, entre otros (art. 68). Así, los ecosistemas de importancia estratégica, formarán parte del sistema nacional de conservación *in situ*, como parte de la Estrategia Nacional de Diversidad Biológica, que debe ser elaborada por la Autoridad Nacional Ambiental (art. 69).

En otro orden de ideas y para los ecosistemas en condiciones de vulnerabilidad, fragilidad o declarados de importancia estratégica, la Autoridad Nacional Ambiental establecerá limitaciones o prohibiciones al aprovechamiento de los componentes de la diversidad biológica (art. 85). Finalmente, la Ley de Gestión de la Diversidad Biológica, también prevé medidas preventivas y se seguridad, para la situación de degradación o deterioro de los ecosistemas, las cuales son competencia de la Autoridad Nacional Ambiental y que deberán tomarse en función de prevenir los posibles daños, o para restaurar o reparar los ecosistemas, cuando han sido degradados (arts. 115 y 116).

IV. UN CASO DE ESTUDIO

Para exemplificar parte de lo considerado en este capítulo se presenta un caso de estudio sobre el río El Valle y la ampliación de una autopista aledaña al mismo río en la ciudad de Caracas. El río El Valle es el segundo más caudaloso en el valle, del río Guaire, donde desemboca. Este nace en las montañas al suroeste de Caracas a una altura de 1.300 metros y con una variación de pendiente entre los 50 a 6 metros por kilómetro entre las cabeceras hasta la desembocadura. El área de drenaje de la cuenca del río abarca 110 km². En su trayecto por la ciudad de Caracas, el curso del río El Valle ha sido embaulado en una suerte de cajón de concreto. El río fue canalizado en la década de 1950, para lo cual se hizo el correspondiente cálculo hidrológico; sin embargo, el crecimiento poblacional, la construcción de las edificaciones en el sector de El

Tabla 3. Límites máximos permitidos de las descargas de algunos elementos contaminantes a los cuerpos de agua, según el Decreto N° 883, contentivo de las Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos, de fecha 18 de diciembre de 1995. Unidades en mg/l (1), Pt/Co (2) y número de parte por millón por cada 100 ml (3).

Parámetros	Ríos, estuarios, lagos y embalses	Marino costero	Redes cloacales	Subsuelo
Aceites, minerales e hidrocarburos ¹	20	20	20	20
Aluminio total ¹	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro total ¹	0,2	0,2	0,2	0,2
Cloruros ¹	1.000			1.000
Color real ²	500	500		500
DBO 5, 20 ¹	60	60	350	60
DQO ¹	350	350	900	350
Mercurio total ¹	0,01	0,01	0,01	0,01
pH	6-9	6-9	6-9	6-9
Sólidos flotantes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Sólidos suspendidos ¹	80		400	80
Sólidos sediméntales ¹	1,0			1,0
Sólidos totales ¹			1600	
Zinc ¹	5,0	10	10	5,0
Coliformes totales ³	< 1.000	< 1.000		< 1.000

Valle y los más reciente edificios construidos en la denominada Ciudad Tiuna (otra urbanización aledaña al río), han modificado aún más la circulación del agua, provocando cambios en el comportamiento natural del río. Recientemente el río fue intervenido por las obras de ampliación de la autopista Valle-Coche (inaugurado a finales de 2015), donde las columnas de soporte de la ampliación de la misma provocaron la obstrucción parcial a la circulación del río en su tramo más estrecho. El proyecto vial, a cargo del Ministerio de Transporte Terrestre y Obras Públicas (que no ha sido accesible), contempló la construcción de decenas de columnas (pilas) asociadas al cauce para el apoyo de los puentes paralelos a un distribuidor vial, este último conocido como El Pulpo.

Diferentes academias, sociedades, grupos organizados y especialistas en ingeniería hidráulica y riesgos ambientales (p.j. ANIH 2015, SVIH 2015) expresaron preocupación por las potenciales inundaciones por las crecidas del río. Así, se indicó que la acumulación de sedimentos y desperdicios en el río son otro peligro

que aumenta con la colocación y disposición de las bases del puente, puesto que tales retenciones producen acumulaciones de escombros que obstruyen el flujo normal del río. Igualmente, se argumentó que la obra es contraproducente porque aumentaría la resistencia al flujo del río, con el posterior aumento en el nivel de las aguas con peligro de desbordamiento. También se ha indicado que las obras en ejecución elevan el riesgo para las comunidades vecinas. Para compensar los efectos negativos del proyecto se obliga a la construcción de obras de mitigación hidráulicas, de las cuales no existen evidencias hoy en día.

En nuestra opinión, los responsables de esta obra, incluyendo al Estado, aún no han dispuesto de evidencias de haber cumplido con la exigencia constitucional de haber realizado previamente un estudio de impacto ambiental y socio cultural (EIA), por ser una actividad degradante del ambiente. Este deber que impone la Constitución, de no ser cumplido por cualquier persona, sea natural o jurídica, pública o privada, nacional o extranjera, termina por violentar el derecho

a vivir en un ambiente sano, seguro y ecológicamente equilibrado. A esto se agrega que, además de las anteriores violaciones a la Constitución, tampoco se dio cumplimiento a las exigencias previstas en la Ley Orgánica del Ambiente (2006), en sus artículos 82, 84, 85, 88, 96 y el decreto 1257, para la aprobación de tales actividades, incluyendo la evaluación ambiental de la actividad propuesta, sus beneficios económicos y la posibilidad de recuperar el daño ecológico que pueda producir, que son en sí mismos los objetivos de un estudio de impacto ambiental y socio cultural. De igual manera, quedó en evidencia que esta obra produjo la degradación del medio físico y biológico en el río, lo cual presupone una infracción a la Ley de Aguas (mas el incumplimiento del artículo 80, numeral 3 de la LOA), que implica una sanción a ser impuesta por las autoridades administrativas.

La gran mayoría de las advertencias y precauciones técnicas expresadas anteriormente ocurrieron varias veces desde mediados de 2016, destacando notables inundaciones de los cauces y las vías, eventos ampliamente reseñados por la prensa. Esto además confirma la importancia de conocer y respetar la legislación ambiental. Situaciones como la anterior son usuales en los ríos del país, donde la intervención inadecuada y sin el aval de las leyes ha afectado los cauces y sus riberas, ya sea por la construcción de urbanismos o vías de comunicación, generando pérdidas materiales y humanas durante eventos de precipitación y crecida extraordinarios, donde los ríos se salen de sus cauces y ocupan su planicie natural de inundación.

V. CONSIDERACIONES FINALES

Venezuela es uno de los países pioneros en legislación ambiental y fue por mucho tiempo ejemplo para muchos países que asumieron el compromiso de proteger el ambiente, para lo cual fue necesario un desarrollo legislativo, y del que nuestro país sirvió de modelo. En materia de protección de los ecosistemas fluviales, la legislación venezolana desde sus inicios centró su objetivo en proteger las aguas como recurso, considerado como indispensable para vida y el desarrollo, llegando a tener un valor estratégico importante para el logro de tales fines. De allí que el derecho ambiental en Venezuela, se orientó a regular el aprovechamiento del recurso, que con la evolución de los conceptos, teorías y doctrinas, alcanzó el adjetivo de “sustentable” o “sostenible”, dejando atrás la idea de explotarlo pura y simplemente.

Los ecosistemas fluviales son por consecuencia, el elemento fundamental para garantizar el abastecimiento de agua y la conservación del recurso, lo que implica no solamente la protección de la cuenca en sí misma, sino todos los elementos que la rodean y las

interacciones que se producen en el ecosistema, tanto las de carácter biológico, como las interacciones económicas, sociales y culturales, siendo que además los ecosistemas fluviales son incluidos dentro del concepto de biodiversidad, asumidos como componentes de la misma, dentro del concepto genérico de ecosistemas. La Ley de Aguas del año 2007, dio un paso esencial al consagrarse como derecho humano fundamental, el acceso al agua potable y al saneamiento, lo que luego sería así admitido por la Organización de las Naciones Unidas, como ya quedó señalado, ya que no es solo asegurar a las personas el agua como recurso para la vida, sino también las consecuencias que implican el adecuado saneamiento, vale decir la garantía de la sanidad de las cuencas hidrográficas y de las cuencas hidrogeológicas, para asegurar el perfecto disfrute de derecho a acceder al agua (Riestra 2013).

En el derecho venezolano, la cuenca hidrográfica es hoy considerada como unidad territorial y funcional, más que un como espacio físico en sí mismo, la cual es protegida por las leyes como una totalidad, o como un todo y no como una parte de un espacio territorial, de allí que la relaciones que en ellas se producen, su aprovechamiento y conservación, debe ser entendidos sobre la totalidad y no sobre la porción del espacio donde dichas relaciones se generan.

El Estado debe jugar un rol fundamental en la protección de los ecosistemas fluviales, no solamente porque ejerce sobre ellos la autoridad ambiental, desarrollada a través de las competencias que sobre la administración de los recursos le confiere la ley, sino porque la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999), le impone el deber de proteger el ambiente, la diversidad biológica, los procesos ecológicos y las áreas de especial importancia ecológica. Lo antes dicho implica entonces el diseño, elaboración y ejecución de políticas públicas, bajo la premisa del desarrollo sustentable, orientadas a garantizar la conservación y la sostenibilidad de estos ecosistemas, dada su importancia de acuerdo a lo señalado.

El Estado no puede dejar de lado, bajo ningún concepto, el paradigma del desarrollo sustentable y debe hacer parte de sus planes, programas y proyectos, la variable ambiental, en la que tiene un importante papel la determinación de los impactos adversos sobre los ecosistemas, de las actividades y desarrollos que deben llevarse a cabo. Este es el verdadero espíritu, propósito y razón de nuestra legislación ambiental y así se encuentra establecido. También implica el ejercicio de los controles ambientales establecidos en el ordenamiento jurídico ambiental venezolano, especialmente sobre aquellas actividades capaces o susceptibles de degradar el ambiente, a fin de determinar, corregir, prevenir, mitigar y reparar los impactos

ambientales que causan esas actividades. Se trata entonces de ejercer la autoridad ambiental dada por el derecho y exigir el cumplimiento de los deberes que la ley impone a todos quienes realizan estas actividades, sin distingo de que sean entes públicos o privados, atribución relevante para alcanzar los objetivos de protección de los ecosistemas fluviales y para lo cual, el Estado dispone de los instrumentos establecidos en las leyes.

En cuanto a las normas que requieren actualización o revisión, la Ley de Orgánica del Ambiente, la Ley de Aguas y la Ley de Gestión de la Diversidad Biológica, son de reciente data, por lo que para la fecha, están suficientemente adaptadas a la realidad ambiental y mundial. Sin embargo, la normativa técnica, especialmente el decreto 883, contentivo de las normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos, data de 1995 y el decreto 1.257 contentivo de las normas sobre evaluación ambiental de actividades susceptibles de degradar el ambiente, se dictó en 1996. Ejemplos de casos relacionados con esta norma están en Segnini y Chacón (2017) y Rodríguez-Olarte et al. (2017). Ambas normas requieren revisión y evaluación a los efectos de su mayor conformidad con la realidad ambiental y socioeconómica del país y en atención a la dinámica científica y técnica (Vitalis, 2014), a fin de que puedan dar mayores garantías de protección a los ecosistemas fluviales, especialmente en materia de control de las descargas de efluentes a los cuerpos de agua y de la adaptación de las evaluaciones ambientales de las actividades que son capaces de degradar los ecosistemas, acorde con lo establecido en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela.

Finalmente, se ha de tener presente la preocupación nacional y mundial que existe por el calentamiento global y los cambios climáticos, expresada en la reciente firma del Acuerdo de París. Así como Venezuela aprobó la primera Ley de Diversidad Biológica, con vista al convenio suscrito en Rio de Janeiro en 1992, hoy modificada por la Ley de Gestión de la Diversidad Biológica, se mantiene igualmente la necesidad de promulgar una ley de cambio climático, que haga preciso el compromiso de Venezuela de reducir sus emisiones. En ello son de vital importancia los ecosistemas fluviales, que no solamente son un componente que puede verse afectado por este problema, sino que pueden contribuir de forma notable a la reducción de los impactos que genera el calentamiento global.

El mundo avanza hacia la sostenibilidad ambiental y los ecosistemas fluviales son esenciales para la vida en el planeta tierra, por lo que las instituciones deben estar comprometidas con el futuro de la humanidad y

entender la importancia de los problemas ambientales causados. El Estado venezolano deberá entonces continuar en la búsqueda del equilibrio entre el desarrollo y el ambiente, especialmente asegurando el aprovechamiento sostenible de los ecosistemas fluviales y su entorno, para satisfacer las necesidades del presente, sin comprometer a las generaciones futuras.

BIBLIOGRAFÍA

- ANIH. 2015. Declaración de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat con motivo de la situación planteada con la ampliación de la autopista Valle - Coche. [http://www.acaling.org.ve/info/comunicacion/d-academia.php](http://www.acading.org.ve/info/comunicacion/d-academia.php)
- Brewer-Cariás, A. 2006. *El régimen de las aguas en Venezuela. Efectos de su declaratoria general y constitucional como bienes del dominio público*. Ponencia preparada para el Congreso Internacional de Derecho Administrativo, Instituto de Investigaciones Jurídicas, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, 7 de junio de 2006. (<http://www.allanbrewercarias.com/>) Versión electrónica accedida: 27 de diciembre de 2015.
- Brewer-Cariás, A. 2007. *Ley de Aguas*. Colección Textos Legislativos N° 41. Primera Edición. Editorial Jurídica Venezolana. Caracas.
- Meaño, F. 1979. *Régimen legal de las aguas en Venezuela*. Segunda Edición. Editorial Arte. Caracas.
- Organización de Naciones Unidas. 2010. *Resolución sobre derecho humano al agua y el saneamiento. A/64/L.63/Rev.1*. (http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292&Lang=S). Versión electrónica accedida 02 de julio de 2015.
- Organización de Naciones Unidas. 2015. *Los derechos humanos al agua potable y el saneamiento. A/RES/70/169*. (<http://www.un.org/es/ga/70/resolutions.shtml>). Versión electrónica accedida: 27 de diciembre de 2015.
- Riestra, J. 2013. *Desarrollo del Derecho al Agua y al Saneamiento en el Ordenamiento Jurídico*. Ponencia presentada en el Congreso Internacional de Investigación Unefa 2013 Estado, Sociedad y Gerencia.
- Rodríguez-Olarte, D., Barrios, M., Marrero, C. y Marcó. L. M. 2017. Río Turbio: un síndrome urbano en la vertiente andina del Orinoco. Capítulo 3. (pp: 59-74). En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.). *Ríos en riesgo de Venezuela. Vol. I*. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Segnini, S. y Chacón, M. M. 2017. El Chama: un río andino en riesgo. Capítulo 8. (pp: 29-58). En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.). *Ríos en riesgo de Venezuela. Vol. I*. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- SVIH. 2015. Comunicado de la Sociedad Venezolana de Ingeniería Hidráulica con motivo del Foro celebrado el Viernes 20/10 sobre el proyecto y construcción de la ampliación de la autopista Valle - Coche. Mimeografiado.

- Villa, M. 1967. *Aspectos geográficos del Distrito Federal*. Corporación Venezolana de Fomento. Caracas.
- Vitalis. 2014. *Balance de la Situación Ambiental de Venezuela 2013*. (www.vitalis.net/recursos/situacion-ambiental-de-venezuela/). Versión electrónica accedida: 22 de diciembre de 2015.

Legislación venezolana

- Asamblea Nacional Constituyente. 1999. *Constitución de la República Bolivariana de Venezuela*. Caracas, Venezuela: Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela No. 36.860, de 30 de diciembre de 1999.
- Asamblea Nacional. 2006. *Ley Orgánica del Ambiente*. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 5.833, de fecha 22 de diciembre de 2006.
- Asamblea Nacional. 2007. *Ley de Aguas*. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 38.595, de fecha 02 de enero de 2007.
- Asamblea Nacional. 2007. *Ley de Gestión de la Diversidad Biológica*. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 39.070, de fecha 1º de Diciembre de 2009.
- Congreso de la República de Venezuela. 1961. *Constitución Nacional*. Caracas, Venezuela: Gaceta Oficial No. 662 Extraordinario, de 23 de enero de 1961.
- Congreso de la República de Venezuela. 1983. *Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio*. Caracas, Venezuela: Gaceta Oficial No. 3.223 Extraordinario, de 11 de agosto de 1983.

- Congreso de la República 1994. *Ley Aprobatoria del Convenio de Diversidad Biológica*. Caracas, Venezuela: Gaceta Oficial No. 4.780 Extraordinario, de 12 de septiembre de 1994.
- Presidencia de la Republica. 1995. *Decreto N° 883. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos*. Publicado en Gaceta Oficial Nro. 5.021 Extraordinario, de fecha 18 de diciembre de 1995.
- Presidencia de la Republica. 1996. *Decreto 1.257. Normas sobre evaluación ambiental de actividades susceptibles de degradar el ambiente*. Publicado en Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 35.946 del 25 de Abril de 1996.
- Presidencia de la Republica. 1996. *Decreto 1.400 Normas sobre la Regulación y el Control del Aprovechamiento de los Recursos Hídricos y de las Cuenas Hidrográficas*. Publicado en Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 36.013 del 2 de agosto de 1996.
- Presidencia de la Republica. 2014. *Decreto 1.446 Decreto con Rango, Valor y Fuerza de Ley de los Espacios Acuáticos*. Publicado en Gaceta Oficial Extraordinaria N° 6.153, de fecha 18 de noviembre de 2014.



El adagio reza que los arboles no dejan ver el bosque, ocurre que también ocultan los potreros al fondo. Los delgados cordones de bosques ribereños a menudo predicen ríos con una integridad elevada, pero esta es localizada y frágil, muy frágil (fotografía de D. Rodríguez-Olarte).

El derecho internacional y los ríos transfronterizos de Venezuela: casos Carraipía-Paraguachón, Arauca y Barima

Juan Carlos SAINZ-BORGO¹ y Josmar FERNÁNDEZ²

1. Universidad para la Paz, Naciones Unidas, Costa Rica.

jsainz@upeace.org

2. Ministerio del Poder Popular para las Relaciones Exteriores. Caracas. Venezuela.

josmar.fernandez736@mppre.gob.ve

La gestión de los ríos internacionales está sujeta al cumplimiento de principios generales establecidos en el derecho internacional fluvial y los ríos transfronterizos venezolanos no escapan de ello. Un análisis sobre casos específicos como los ríos Carraipía-Paraguachón en los drenajes al Caribe, el Arauca con la fuga de Bayonero en los llanos del Orinoco y el río Barima en la cuenca del Esequibo -bajo un régimen internacional muy particular-, así lo demuestran. Aun cuando estos ríos y sus respectivas cuencas conforman diferentes complejidades jurídicas y ambientales, los une un mismo principio: la necesidad de negociación y cooperación entre los países involucrados, con el fin de promover la gestión integral no sólo del recurso hídrico per se, sino de la cuenca en toda su amplitud. Aquí se presenta una breve revisión y actualización sobre la situación geográfica y jurídica bajo las cuales se encuentran cada uno de estos cursos de agua y sus cuencas transfronterizas, toda vez que éstas cubren áreas estratégicas. Las cuencas hidrográficas transfronterizas están vinculadas directa e indirectamente a la navegación fluvial y a la correcta demarcación y eso incluye necesariamente a sus ríos, lo que demuestra la importancia y trascendencia que su manejo integral tiene para Venezuela.

Palabras Clave: ríos internacionales, cuencas hidrográficas transfronterizas, Derecho Fluvial Internacional.

I. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista técnico-jurídico, la evolución del tratamiento de los cursos fluviales internacionales venezolanos representa un cuerpo normativo de gran complejidad, con un conjunto de tratados, acuerdos y normas internacionales de diverso nivel, así como una larga práctica internacional, que se interrelacionan de manera precaria para poder desarrollar un marco mínimo de cooperación internacional en la materia. Lo anterior se expresa en que Venezuela cuenta con cinco cuencas hidrográficas transfronterizas con los países vecinos: Carraipía-Paraguachón en la Guajira, Catatumbo, que comprende los estados Zulia y parte norte del estado Táchira, Orinoco, particularmente el río Arauca (tramo internacional) en el drenaje del Apure, cuenca del Amazonas (de uso común con Brasil, Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Guyana), y la cuenca del Cuyuní, ubicada en el territorio Esequibo.

El objetivo del capítulo es presentar una visión general del régimen internacional que regula la cooperación entre Venezuela y sus países vecinos en relación a tres ríos, que de acuerdo a un orden geográfico, se comenzaría por la frontera noroeste con la República de Colombia, en el área de la Guajira, con el río Paraguachón en la frontera norte, para continuar hacia los llanos por el río Arauca (tramo internacional) y la fuga Bayonero en la frontera sur-oeste, también con Colombia y finalmente concluir con la situación en la frontera este referida al caso del eje del río Cuyuní-Barima ubicado en territorio Esequibo y su particular régimen internacional.

Además, se presenta una breve descripción de la naturaleza del derecho internacional fluvial de Venezuela y un análisis individual de cada uno de los ríos considerados según dos secciones: Colombia y Guyana (Figura 1). En cada sección se incluirá un breve resumen histórico del mismo, que considera una revisión del marco institucional y legal, una descripción del sistema fluvial y finalmente las observaciones finales sobre los principales desafíos que desde la perspectiva de la cooperación internacional presentan los ríos venezolanos.

II. LA REGULACIÓN DE LOS RÍOS TRANSFRONTERIZOS ENTRE VENEZUELA Y COLOMBIA

En principio, es preciso entender que “las cuencas hidrográficas transfronterizas se erigen como unidades espaciales natas de integración fronteriza” (Fernández 2010), regulados por un complejo entramado de compromisos internacionales de carácter jurídico.

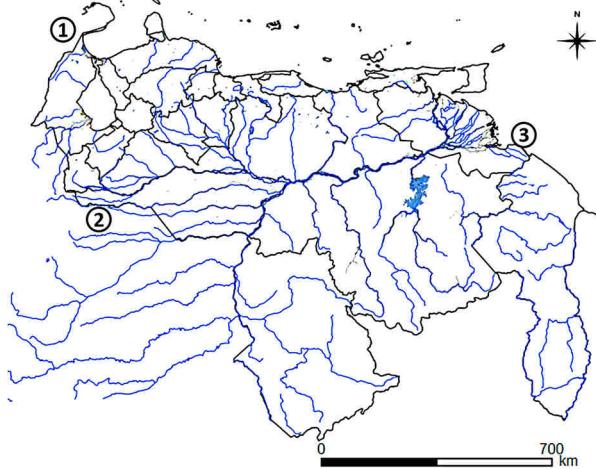


Figura 1. Venezuela y los ríos fronterizos estudiados: 1) Carraipía-Paraguachón, 2) Arauca (fuga de Bayonero) y 3) Barima.

Por lo cual, para Venezuela ha sido un mandato histórico incluir de primero en la agenda bilateral los temas relacionados con los límites y las fronteras. Si se estudia el proceso de conversaciones y/o negociaciones que ha llevado a cabo Venezuela en esta materia, se puede identificar como la regulación internacional de sus cursos de agua ha estado sujeta a la firma de acuerdos limítrofes, muy especialmente con la república de Colombia.

Las relaciones fronterizas entre Venezuela y Colombia desde su separación con la ruptura del proyecto federativo de la Gran Colombia han sido siempre muy complejas. Durante el siglo XIX se prepararon cuatro proyectos de tratado de delimitación (1833, 1844, 1873 y 1894), que finalizaron con el laudo arbitral dictado por la corona española en 1891 y luego con el arbitraje suizo en 1922. Para el año 1941, ambos países firman el Tratado sobre Demarcación de Fronteras y Ríos Comunes con el cual se finalizaba cualquier diferendo territorial y además se otorgaban el derecho a la libre navegación fluvial, de forma recíproca (a)¹. Sin embargo, en dicho tratado se impuso la obligación a ambas partes de negociar un nuevo Tratado de Comercio y Navegación que permitiría la mejor regulación y ejecución de las obligaciones establecidas en el año 1941. Tras 75 años de ello, este tratado en el área de la navegación fluvial, no ha sido suscrito y sigue en proceso de negociación.

A partir de los años setenta del siglo XX, ambos países comienzan a desarrollar un conjunto de acuerdos relativos al tema, entre ellos la situación en el río

¹ Ver anexos (a-i) al final del capítulo.

Arauca, en particular la fuga Bayonero. En el año 1976, Venezuela y Colombia firmaron la Declaración de Arauca, donde se estableció una comisión mixta con dos objetivos precisos: (1) Garantizar el desarrollo armónico de las cuencas hidrográficas entre Venezuela y Colombia encaminado al logro de un proceso de integración fronteriza y (2) Realizar de planes conjuntos para la conservación y manejo integral de las cuencas comunes a fin de preservar su equilibrio ecológico. En esta declaración bilateral, ambos gobiernos sentaron las bases de los principales criterios jurídicos para el desarrollo de los ríos comunes, incorporando de forma conjunta los conceptos de cuenca, desarrollo conjunto, aprovechamiento racional, entre otras definiciones que guiarán el devenir de la administración de los cursos de agua bilaterales.

La década del 70 finalizará con la designación de una comisión bilateral (1979) para negociar los límites marítimos entre ambos países, que culminó en 1981 con la llamada “Hipótesis de Caraballeda”, ampliamente rechazada en Venezuela. Esta propuesta de negociación llevó en la práctica a la paralización de las relaciones bilaterales y alcanzó su punto crítico con la incursión de la corbeta colombiana Caldas en 1987 en aguas territoriales venezolanas en el Golfo de Venezuela. En 1989, ambos países relanzaron un paquete de negociaciones conocido como el Acta de Caracas que se vio cristalizado en el Acta de San Pedro Alejandrino (6 de marzo de 1990), en la cual se establecen los *modus operandi* (b) para dar solución a cada uno de los problemas identificados (Tabla 1).

Desde entonces, la gestión de las cuencas hidrográficas transfronterizas se realizó dentro de un complejo juego político y diplomático, que ha sido descrito por la ciencia política como un “*two level game*” (Putnam 1988) que vincula de manera simultánea un tablero político y uno técnico. Así, los comisionados negociadores realizaron un proceso de discusión donde se vinculan los temas referidos a las cuencas hidrográficas, la delimitación de las áreas marinas y submarinas en el Caribe y otros temas relevantes de la agenda bilateral. Y en segundo lugar, ejecutaron una dinámica de negociación de carácter técnico que facilitó la construcción de un esquema de administración de las cuencas hidrográficas internacionales, dentro de un ámbito de cooperación fronterizo.

En el seno del Acta de San Pedro Alejandrino (1990), el *modus operandi* dedicado al “Tratamiento y Solución de Cuencas Hidrográficas”, acuerda que ambos países establezcan una comisión mixta en materia de cuencas que formule un plan de aprovechamiento de los recursos hídricos para las

cuenca de los ríos Catatumbo, Arauca y Carraipía-Paraguachón, al mismo tiempo que establecieron cuatro principios para el tratamiento del tema, citados a continuación (Area 2001):

1. Para lograr el desarrollo integral de los respectivos territorios y un mayor bienestar de sus pobladores, en el ordenamiento, conservación y gestión de las cuencas hidrográficas internacionales se deberá mantener el equilibrio entre el crecimiento económico y la preservación del medio ambiente.
2. El uso y aprovechamiento exclusivo de los recursos naturales en sus respectivos territorios es derecho inherente a la soberanía de cada Estado y su ejercicio no tendrá otras restricciones que las que resulten del derecho internacional.
3. Teniendo presente la importancia y la multiplicidad de efectos que los ríos fronterizos internacionales pueden alcanzar en el proceso de desarrollo económico y social, Venezuela y Colombia realizarán esfuerzos destinados a la utilización racional de los recursos hídricos.
4. Cada estado tiene derecho a una participación razonable y equitativa en el uso de las aguas de las cuencas internacionales. Dicha participación se determinará en cada caso según los factores pertinentes tales como la geografía, la hidrología, el uso actual y potencial de los suelos y las condiciones demográficas, económicas y sociales de las poblaciones relacionadas con la respectiva cuenca.”

El enunciado del *modus operandi* bilateral desarrolla los principios generales de la gestión transfronteriza de las cuencas venezolanas en el caso colombiano: 1) el crecimiento racional, 2) el ejercicio soberano en la explotación de los recursos, sometido al derecho internacional, y 3) utilización racional y equitativa de los recursos de la cuenca. Estos lineamientos en la gerencia transfronteriza están inspirados en la experiencia de negociación entre ambos países, así como la evolución técnico-jurídica internacional en la materia, particularmente los “Principios de Helsinki”, aprobados por la Asociación de Derecho Internacional en 1966.

Ahora bien, la práctica de la negociación no ha sido del dominio público. El objeto de negociación entre Venezuela y Colombia se debate entre el cumplimiento de los acuerdos en materia de navegación de los ríos transfronterizos, en particular el Tratado de 1941, representado en el *modus operandi* que desarrolla la navegación fluvial y la exigencia venezolana de la conservación ambiental de los ríos

Tabla 1. Comisiones Presidenciales y temas de su responsabilidad según el Acta de San Pedro Alejandrino (1990).

Comisiones presidenciales	Mandato	Observaciones
Comisión Presidencial para la Delimitación de Áreas Marinas y Submarinas con la República de Colombia y otros temas (CONEG)	<ul style="list-style-type: none"> · Delimitación de áreas marinas y submarinas. · Migraciones. · Cuencas hidrográficas internacionales. · Demarcación. · Ríos internacionales (vistos desde la navegación fluvial). 	Desde 1990, las negociaciones entre Venezuela y Colombia, en materia de cuencas hidrográficas, pasaron a ser competencia de la CONEG
Comisión Presidencial de Asuntos Fronterizos (hoy día: Comisión Presidencial de Integración y Asuntos Fronterizos (COPIAF)	<ul style="list-style-type: none"> · Transporte internacional. · Ambiente. · Cooperación en casos de emergencia. · Infraestructura. · Salud y sociedad. · Seguridad. · Relaciones de vecindad en general. 	Salud, sociedad y seguridad, fueron temas incorporados en el año 2000.

transfronterizos que nacen en Colombia. En este particular, la posición venezolana sostiene que no puede haber navegación sin conservación y por tanto, el elemento de las negociaciones fluviales se convierte en una de las claves políticas para la negociación de las áreas marinas y submarinas con Colombia (Sainz-Borgo 2008).

En el área técnica, el trabajo de los dos gobiernos se ha concentrado en el desarrollo de un marco general de gerencia de las diversas cuencas transfronterizas. Estos trabajos se han adelantado a través de una “Comisión Técnica Binacional para el Estudio Integral de las Cuencas Hidrográficas de Uso Común entre Venezuela y Colombia” (CTB CHUC), integrada por los ministerios de relaciones exteriores y ambiente de ambos países, mientras que la coordinación política de los trabajos de éste los ejerce la Comisión Negociadora con Colombia (CONEG). La CTB posee dos comités técnicos binacionales para la formulación de un plan integral de aprovechamiento (razonable y equitativo) de los recursos de las cuencas de los ríos Carrapía-Paraguachón y Catatumbo. Asimismo, posee dos grupos de expertos *ad hoc* para realizar estudios en el sistema de ríos Meta-Orinoco y en el río Arauca, siendo especialmente relevante para el abordaje de la llamada fuga Bayonero.

La diferencia práctica entre los comités técnicos binacionales y los grupos de expertos, está relacionada con el compromiso político en el tratamiento del tema y los instrumentos firmados en cada caso. En este sentido, los gobiernos de Venezuela y Colombia siguen los preceptos contenidos en las

Normas de Helsinki para la gestión integral de los recursos de la cuenca; mientras que los grupos de expertos no tienen el mismo compromiso jurídico ni político.

De acuerdo a lo anterior, se puede resumir que la construcción del marco negociador entre Venezuela y Colombia se ha materializado en un proceso de negociaciones bilaterales, iniciado con la firma del Tratado de 1941 que estableció la libre navegación fluvial de forma bilateral y un conjunto de acuerdos bilaterales a partir de la década de años setenta, que han adaptado el establecimiento de normas y criterios técnicos multilaterales. Estos llegaron a su máxima expresión en 1989 cuando se enuncian los asuntos pendientes de mayor interés entre ambos países y posteriormente se establecen mecanismos políticos y técnicos que faciliten la solución de los problemas expuestos. Sin embargo, en los últimos 10 años no se ha puesto en práctica, debido al virtual congelamiento de la agenda fronteriza dentro de la relación bilateral entre Venezuela y Colombia.

Antes de desarrollar cada uno de los casos de estudio, es preciso referir que Venezuela presenta una posición geográfica antagónica desde el punto de vista hídrico, toda vez que se encuentra aguas abajo respecto a Colombia, ya que, las nacientes de los principales ríos transfronterizos que discurren hacia territorio venezolano se encuentran en las cordilleras Colombianas, y aguas arriba respecto al territorio Esequibo, es decir, mantiene una relación interdependiente, al menos desde el punto de vista hídrico, con sus vecinos.

1. Río Carraipía-Paraguachón

El río Carraipía-Paraguachón está ubicado en la Península de La Guajira (Figura 2), la cual es caracterizada por tener un clima semidesértico. Este río nace a partir de la confluencia de las quebradas El Cagual y La Chingolita en el municipio de Maicao, departamento de la Guajira (Colombia) y discurre aguas abajo hacia el municipio Guajira del distrito Páez del estado Zulia (Venezuela), donde finalmente descarga sus aguas en la ensenada de Calabozo, en época lluviosa. La cuenca tiene una extensión de 560 km², de los cuales el 43% corresponde a Venezuela, área referida como la cuenca baja. La idea de usar ambos nombres tiene por objeto respetar la denominación en cada país: Carraipía en Colombia y Paraguachón en Venezuela. El régimen de precipitación es de tipo bimodal: con nueve meses para el periodo de sequía y tres meses con inundaciones periódicas que afectan la parte baja de la cuenca, en especial la población indígena. Las lluvias disminuyen 55% de su volumen desde la zona montañosa de la cuenca entre las planicies y la desembocadura del río en el Golfo de Venezuela (Comité Técnico Binacional Colombia Venezuela 1991). El caudal del río es bajo y variable, de acuerdo a la ubicación geográfica, entre 0,2 m³/seg y con picos en el periodo lluvioso hasta de 3,3 m³/seg (ibidem), lo cual limita el desarrollo de estas zonas económicamente deprimidas, donde la disponibilidad de agua se hace inferior a la demanda.

El uso de la cuenca es muy desigual. En el territorio venezolano no se dispone de información reciente de la cuenca; sin embargo, si se considera que la población total del municipio Guajira -donde drena la totalidad del río-, del estado Zulia, es de 70.974 habitantes (Instituto Nacional de Estadística 2014) distribuida en un área de 2.370 km² y con densidad poblacional de 29,9 hab/km². Así, el área de la cuenca se caracteriza como una zona poco poblada y por tanto con menor demanda del recurso hídrico. Por otro lado, en el sector colombiano (57% de la superficie restante), de acuerdo al plan de ordenamiento de la cuenca, preparado por la Corporación de Desarrollo del Departamento de la Guajira (Corpoguajira 2007), la mayoría de la población de la cuenca está constituida por comunidades indígenas Wayúu con aproximadamente 2.302 habitantes (ibidem). Fuerza del área de influencia de la cuenca se encuentra la ciudad de Maicao, con una población de 123.768 habitantes según el censo del año 2012; los cuales han desarrollado una dinámica social y económica que ejerce mayor presión sobre la demanda de agua en esa zona. Esta área de influencia es clave para determinar la capacidad legal que tendría esa ciudad para apropiarse del líquido que se origina en



Figura 2. Cuenca del río Carraipía-Paraguachón. Imagen elaborada con diferentes capas digitales.

la cuenca y que sería objeto de una eventual negociación para la racional utilización de la misma. Como contraste, en el territorio colombiano se da un uso intensivo de las aguas superficiales y subterráneas de la cuenca, principalmente para abastecer a la ciudad de Maicao, la cual se ha centrado en la explotación de las aguas subterráneas, como una fuente de abastecimiento debido a la falta de fuentes hídricas superficiales, por lo cual, se construyeron dos pozos en las cercanías de la margen izquierda del río Carraipía, como fuentes complementarias del acueducto municipal.

Se entiende que estas actividades han sido realizadas de forma unilateral por parte de Colombia, sin la participación por parte de ningún órgano del lado venezolano, demostrando así el uso inadecuado del recurso hídrico del río y desestimando cualquier medida que permita coordinar con el gobierno de Venezuela para procurar la gestión integral de la cuenca. El informe bilateral, elaborado por los dos gobiernos en el año 1991 (Comité Técnico Binacional Colombia-Venezuela 1991) dentro de los *modus operandi* de negociación antes comentados, detectaba esta situación y propuso un curso de acción. Sin embargo, la falta de voluntad de política ha sido obstáculo para promover el desarrollo y aprovechamiento conjunto de la cuenca.

Se estima que el uso intensivo del agua en una cuenca muy precaria y deficitaria debido a las condiciones geográficas y climáticas, ha causado grandes daños al río y a la cuenca. En el plan de la cuenca, se incluye la siguiente evaluación por parte de la población local indígena: "...hace aproximadamente 30 años se podía pescar en el río; hace 20 años tenía agua todo el año y hasta hace 15 años el río tenía agua hasta por seis meses.". Esto sugiere el rápido

deterioro que la cuenca está presentando en el lado colombiano. Sin embargo, no se conocen reportes o evaluaciones de la cuenca realizadas de forma bilateral o en territorio venezolano. No obstante, investigaciones previas señalan los graves daños que el deterioro de la cuenca alta en el lado colombiano ha causado en la cuenca baja venezolana (Colombia-Venezuela 2001). Según algunas estadísticas históricas, la circulación de agua en el río Paraguachón muestra una baja permanencia, menos de cuatro meses al año, lo cual tiene un efecto en el deterioro de los depósitos de agua, demostrado así en el Plan de Aprovechamiento y Conservación de los Recursos Hídricos de La Guajira (Corpoguajira 2007) donde se concluye que “la marcada aridez e insuficientes recursos hídricos superficiales y subterráneos, limitan el desarrollo del área de estudio” por lo cual se teme a la amenaza potencial de desertificación en la cuenca baja, lado venezolano, y en consecuencia, Venezuela ha elevado su preocupación a diversos escenarios, como el Informe Nacional sobre la Implementación de la Convención de Naciones Unidas de lucha Contra la Desertificación y Mitigación de la Sequía (MARN 2000).

La cuenca del Carraipía-Paraguachón fue escogida por los gobiernos de Venezuela y Colombia, en el marco de los esquemas de negociación antes comentados, como cuenca piloto para el desarrollo de proyectos de desarrollo y aprovechamiento integral, esto con base en criterios técnicos fundamentales de repartición y asignación de caudales, conservación, obras hidráulicas y relaciones con la comunidad. Esta condición de cuenca piloto se basa en algunos aspectos referidos previamente. La cuenca presenta dos áreas claramente diferenciadas, en la parte alta y media, el relieve es montañoso con vegetación boscosa intervenida, mientras que la parte baja es de llanura hasta su desembocadura en el Golfo de Venezuela, donde además existen muy bajas precipitaciones y altas temperaturas que caracterizan un clima semidesértico. Asimismo, la población de la cuenca tiene un alto componente indígena Wayuu, dedicado a labores de agricultura y comercio; sin embargo, la disponibilidad de los recursos hídricos representa una limitante de gran importancia para su desarrollo y permanencia (*ibidem*), por lo cual resulta imperioso desarrollar un amplio estudio técnico de las particularidades geológicas y geomorfológicas de la cuenca.

Desde el establecimiento del grupo de trabajo en el año 1990, el comité técnico en la materia se ha reunido en muchas oportunidades sin lograr acordar un “Plan Conjunto de Aprovechamiento Integral de la Cuenca”. Este plan originalmente tenía varios

objetivos, destacando el de racionalizar el uso del recurso en el área colombiana, eliminar las presas o “bocatomas” (acequias) que estarían extrayendo el agua del área, incorporar a la población Wayuú en el cuidado de la cuenca a través del uso de técnicas tradicionales, como la construcción de jagüeyes en lugar de pozos para la extracción del agua y una campaña de reforestación de la zona, entre otras medidas. El comité técnico estableció por primera vez, una serie de conceptos fundamentales para la gestión y el tratamiento de las cuencas vigentes entre los dos países, como son el aprovechamiento razonable y equitativo de los recursos hídricos, tomando en cuenta mucho de los elementos de las Reglas de Helsinki: conservación de la calidad y cantidad de las aguas de la cuenca, reparto equitativo del agua, la importancia de las aguas subterráneas, la vigilancia conjunta de la cuenca, entre otros.

La cuenca del río Carraipía-Paraguachón representa la cuenca más importante desde el punto de vista político y técnico de la relación bilateral, aunque en términos geográficos sea una de las cuencas hidrográficas internacionales más pequeñas. En ocasión de las discusiones del comité técnico se han establecido los conceptos fundamentales de la gestión de las cuencas transfronterizas. Asimismo, esta negociación ha permitido el desarrollo de una metodología práctica de trabajo que se ha materializado en una gran experiencia común, en particular a través de las inspecciones conjuntas a lo largo de la cuenca, con representantes de ambos países; las cuales permitieron el reconocimiento de la problemática mutua, aislando los de la problemática del país, siguiendo el esquema de “*fact finding comision*”, es decir, una comisión técnica que pueda determinar la naturaleza fáctica de la situación, sin que ello implique un juicio jurídico o político. Para el año 2015 se habían realizado cuatro visitas de este tipo, permitiendo a los técnicos de ambos países recopilar información, así como de aprendizaje en la gerencia transfronteriza de las cuencas.

En la actualidad, la variable política de la relación bilateral con Colombia no ha permitido que estos trabajos técnicos hubiesen avanzado o concretado en proyectos sustentables. Sin embargo, los trabajos de rehabilitación de la cuenca para la conservación del agua y la concientización de la población avanzaron y se obtuvieron algunos avances que sembraron las bases para la mejora del recurso hídrico y de la calidad de vida de los pobladores. En las últimas reuniones desarrolladas a nivel presidencial entre Venezuela y Colombia, en los años 2003 y 2005, en el área de cuencas hidrográficas se dio privilegio al plan de contingencia contra derrames petroleros y la

navegabilidad del eje Orinoco-Meta. Sin embargo, no se ha hecho pública ninguna referencia a esta vital cuenca binacional. Por la información disponible, muchos de los elementos acordados de forma bilateral por parte de los gobiernos de Venezuela y Colombia para el tratamiento de la cuenca del río Carraipía-Paraguachón están siendo puestos en práctica de forma unilateral por el gobierno de Colombia, en particular por la Corporación Regional de la Guajira, misma entidad local que participó en el primer diagnóstico de la Cuenca con su entidad par en territorio venezolano Corporación de Desarrollo del Zulia (CORPOZULIA), junto con el apoyo de un conjunto de organismos nacionales colombianos, como el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, INGEOMINAS, donde además habría participado la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), según algunas informaciones obtenidas en Corpoguajira (2008).

La idea de la participación de esta organización internacional, podría estar referida a la idea planteada en el marco de las negociaciones bilaterales, donde se evaluó la participación de esta organización internacional para el uso de isótopos radiactivos para la mejor localización de las aguas subterráneas de la cuenca. No ha podido localizarse información adicional al respecto, en especial la participación del gobierno de Venezuela en estos estudios. Como nota de interés y que refleja la orientación política del régimen bolivariano en Venezuela, entre Octubre 2006 hasta junio de 2007 se ejecutó el proyecto “Coordinar y Desarrollar el Marco Lógico de los Planes de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas a Nivel Nacional”, realizado en el marco de la Alternativa Bolivariana para las Américas (ALBA), dentro del Convenio Integral de Cooperación Cuba-Venezuela, con la finalidad de prestar asistencia técnica del Instituto Nacional de Recursos Hídricos (INRH) de Cuba al Ministerio del Ambiente (MINAMB) de Venezuela. En el informe técnico de los especialistas seleccionaron tres cuencas: dos nacionales, cuenca de río Santo Domingo (estados de Mérida y Barinas, Venezuela) y la cuenca del río Onia (estado Mérida, en Venezuela) y una internacional o transfronteriza: cuenca del río Carraipía-Paraguachón. Del informe de la visita, se refuerza la idea de la gestión unilateral del recurso hídrico desde un nivel comunitario, dejando a un lado la importancia de la regulación internacional (Castro 2009).

La cuenca del río Carraipía-Paraguachón es una de las cuencas desde el punto de vista cuantitativo menos importante de las que se encuentran en territorio venezolano, pero que desde el punto de vista cualitativo es quizás una de las más importan-

tes, de acuerdo al adelanto de un trabajo técnico de gran calado, probablemente el más importante desarrollado en las cuencas internacionales venezolanas, a través de evaluaciones y discusiones técnicas de carácter bilateral. El acervo documental y técnico que esta cuenca ha producido marcará el devenir del tratamiento en otros cursos fluviales internacionales de Venezuela. Sin embargo, en el momento actual pareciera que el tema no es prioridad dentro del esquema de negociaciones bilaterales.

2. Río Arauca - fuga de Bayonero

El río Arauca es un importante curso fluvial que tiene una longitud de 850 km, nace en la cordillera oriental colombiana y fluye por vertientes de pendientes abruptas, causando una intensa erosión a su paso. A partir de la confluencia de los ríos Margua, Cubugón y Cobaría; discurre hacia territorio venezolano, y separa a Venezuela y Colombia en un tramo de 319,9 km, medido a partir del extremo sur de la recta Oirá-Arauca hasta el hito N° 0 en el sector Las Montañitas; concretamente entre los municipios de los estados Táchira y Apure (Venezuela) y los departamentos de Boyacá y Arauca (Colombia) hasta desembocar en el río Orinoco (Figura 3).

La sección internacional del río Arauca es la parte más inestable, toda vez que es el sector donde se produce un cambio de pendiente debido a la transición entre el relieve de montaña y el relieve de llanura. Y es precisamente el sector de referencia a partir del cual, mediante identificación de su vaguada, representa el límite internacional entre Venezuela y Colombia. Debido a la fuerza de arrastre del río, éste transporta una gran cantidad de material granular (rocoso en la cuenca alta y con sedimentos finos en las planicies) hasta llegar a zonas llanas (planicie aluvial de inundación) donde continúa en constante movimiento y su comportamiento se vuelve anasto-

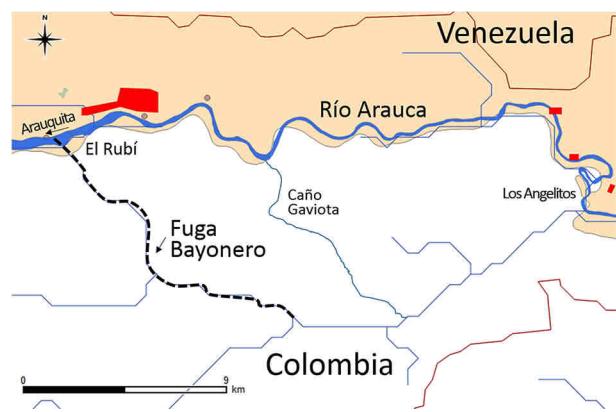


Figura 3. Río Arauca y fuga de Bayonero. Imagen elaborada con diferentes capas digitales.

mosado y meándrico, depositando sedimentos a lo largo de su curso y originando difluencias, fugas, islas y erosión de orillas, entre otros efectos usuales en menor o mayor medida en el período de lluvias. Una explicación sobre la historia natural de estos ríos llaneros la ofrecen Montoya et al. (2017).

La fuga de Bayonero, con 32 km de cauce internacional afectado, se origina como una ruptura de la margen del río Arauca, en el sector de El Rubí, causada por las recurrentes crecientes por efecto del período de invierno, abarca un área aproximada de 143 km² comprendida entre Isla Gaviotas y el caserío La Reineria, consolidándose a consecuencia de la orientación favorable del río hacia la fuga y la disminución de la capacidad de transporte de sedimentos en el cauce del río Arauca aguas abajo. En la Figura 3 se puede distinguir el comportamiento sinuoso del río Arauca, así como los difluentes hacia territorio colombiano, lo que incide en contra de la conservación de las aguas del cauce del río Arauca.

Antecedentes jurídicos y técnicos la Fuga de Bayonero

De acuerdo al Derecho Internacional, el río Arauca es un río internacional contiguo. El límite fue fijado en el Laudo Arbitral Español de 1891 y se precisaron los puntos extremos del sector fronterizo en la sentencia arbitral sobre cuestiones entre límites pendientes entre Venezuela y Colombia (arbitraje suizo 1922). Luego, con la firma del acuerdo sobre puntos relativos a la frontera común de los países, Itriago Chacín-Zuleta del 17 de diciembre de 1928, Venezuela y Colombia adquieren el compromiso para:

- I.d) “Determinar la vaguada de todos los ríos que forman la frontera fluvial donde quiera que el conocimiento de esta línea sea indispensable para determinar la soberanía sobre las islas de los mismos ríos.
- II. Los dos gobiernos reconocen y definen, para todos los efectos del presente acuerdo, por vaguada, la línea determinada por la serie no interrumpida de los sondeos más profundos. Donde el río se divide en brazos, la vaguada es la del brazo por el cual se navega con mayor facilidad en verano; y si existen dos que ofrezcan iguales condiciones de navegabilidad, se preferirá aquel cuyo gasto en volumen de agua sea más considerable”

Esta acción sería concretada con la suscripción del Acta VII de Ciudad Bolívar del 24 de noviembre de 1931 y el Acta VIII de Las Montañitas del 1º de febrero de 1932, en los cuales se asignaron las islas fluviales para definir el límite en ese sector. Seguida-

mente, luego de culminar la fijación de la frontera en el sector del río Táchira en 1937 y la vaguada del Catatumbo en 1938, Venezuela y Colombia firman el Tratado sobre Demarcación de Fronteras y Navegación de los Ríos Comunes (5 de abril de 1941), en el cual enuncian en el Artículo 1 “...que la frontera entre las dos naciones está en todas sus partes definida por los pactos y actos de alindamiento y el presente Tratado...” y en el parágrafo 3 de dicho artículo, convienen en determinar la vaguada del río Arauca para establecer la soberanía de la Isla del Charo.

Ahora bien, no se conoce información suficiente sobre el inicio de la fuga de Bayonero, en algunos documentos referidos a ello, se puede identificar que históricamente el río Arauca ha estado sujeto a recurrentes inundaciones en períodos de lluvias y se menciona que en 1957 se produjo una inundación, 3 km al sur del cauce del río Arauca, que alimentó el nacimiento de caños que desembocaban en Caño Gaviotas y dio origen al Caño Agua Limón, cuya consolidación se tiene como punto de referencia de la formación de la Fuga de Bayonero -llamado así, aparentemente, por la afectación de una hacienda con ese nombre- y la colmatación del cauce internacional. Siendo el periodo 1962-1971 cuando el río sufre un cambio hidrológico y se comienza a reforzar el proceso de modificación de su cauce, perdiendo flujo de agua durante el periodo de sequía, consolidándose los caños Bayonero, Reiniera y Agua Limón.

A partir de lo anterior, se asume que para 1971 el proceso de modificación del río se había fortalecido y se conocía que aproximadamente el 50% del caudal del río discurría por el caño Agua Limón, por lo cual, se considera la consolidación de la fuga como un cauce principal. Posteriormente, los mandatarios de Venezuela y Colombia suscriben un Comunicado Conjunto, a bordo de la draga “Carabobo”, en el río Arauca (23 de julio de 1976), evento que marcó un hito respecto al abordaje del tema del río Arauca, visto como un río de especiales características debido a “los problemas de la demarcación e integración” que representa para ambos países, y en el cual se acordó:

“En cuanto al río Arauca, desde hace años los gobiernos de Venezuela y de Colombia, han venido estudiando las variaciones de su cauce y están interesados en resolver lo deseable del carácter insular de algunas islas a las que ya se había asignado su respectiva soberanía; la aparición de nuevas islas formadas con anteriores terrenos firmes de las costas ya demarcadas y no demarcadas, las fugas del río principal por caños secunda-

rios, los fenómenos de la avulsión y accesión, todo lo cual ofrece un cuadro de complejos problemas.

8. Los presidentes de Venezuela y Colombia, después del análisis de los fenómenos que se han venido observando en el río Arauca... han acordado lo siguiente:

- a) Iniciar y proseguir hasta su conclusión los trabajos para la restauración, demarcación y preservación del río Arauca en todo su cauce internacional...
- c) Crear un equipo de trabajo binacional con el objetivo de que se intercambien todas las informaciones existentes sobre la cuenca del río Arauca y emprender los trabajos experimentales de dragado requeridos en el río Arauca...
- d) Realizar las actividades necesarias mediante una comisión mixta para el desarrollo armónico de las cuencas hidrográficas entre Venezuela y Colombia de los ríos Zulia-Catatumbo, Meta, Arauca y cuenca alta del Orinoco, encaminados al logro de un progreso de integración fronteriza y a la realización de planes conjuntos para la conservación y manejo integral de las cuencas comunes a fin de preservar el equilibrio ecológico.
- e) Ejecutar los trabajos necesarios para la demarcación... y la reconstrucción y densificación de hitos en la frontera terrestre y determinación de toda la vanguardia de los ríos fronterizos, teniendo como plazo para su ejecución el mes de diciembre de 1977...”.

Se aprecia entonces que ambos gobiernos fueron conscientes que estos cambios en el cauce del río Arauca pueden conducir a la alteración del límite internacional, considerando la aparición de nuevas islas y la desaparición del carácter insular de otras a las que se había asignado respectiva soberanía; y es por ello que crean el Equipo Técnico Binacional del Río Arauca Internacional (ETBRAI), con el objetivo de intercambiar información existente sobre la cuenca del río Arauca y coordinar las labores de dragado requeridos en el río Arauca, para restituir y mantener el curso original, a través de la determinación de la vanguardia.

Las labores de dragado debido a la grave sedimentación en esta zona se ejecutarían de la siguiente forma: Venezuela dragaría unos 22 km (en dirección aguas arriba, en el sector Los Angelitos - brazo Gaviotas), con la draga “Aragua” el 15 de marzo de 1978, mientras que Colombia iniciaría las labores en aproximadamente 10 km (en dirección aguas abajo

entre El Rubí - Gaviotas), en octubre de 1976 con la draga “Carabobo”. Con la celebración de la XIII Reunión del Equipo de Trabajo Binacional (julio de 1982), comienzan a surgir discrepancias sobre el objetivo del ETBRAI respecto a la difluencia de caño Bayonero en El Rubí, donde la posición del equipo colombiano sobre al manejo de las bifurcaciones del río Arauca internacional, señala:

Anexo 2: “...las obras definitivas que se construirán en la zona, deben ser diseñadas de tal manera que se logre el fin primordial de reactivar el cauce internacional para navegación permanente, sin obstruir el Brazo Bayonero”.

Este viraje en la posición colombiana, resulta de especial atención para el Estado venezolano, debido a varias consideraciones de interés. En primer lugar porque no existen antecedentes sobre una navegación comercial de calado promedio en el río Arauca y en segundo lugar porque el tema de la navegación fluvial entre Venezuela y Colombia se aborda en el tratado sobre demarcación de fronteras y navegación de los ríos comunes del 21 de agosto de 1941, tal y como se menciona anteriormente, sin incluir cabotaje de acuerdo al párrafo segundo; aspecto muchas veces sujeto a malinterpretaciones, ya que algunos asumen que desde ese momento se permite la libre navegación entre ambos países. Sin embargo, se está ante un ejemplo del derecho imperfecto, toda vez que para poder dar cumplimiento al artículo 2, es imperioso someterse a lo establecido en el artículo 3, el cual estatuye que“...ambas partes procederán...a negociar y celebrar un Tratado de Comercio y Navegación fundados en principios de amplia libertad de tránsito terrestre y navegación fluvial”. Las negociaciones sobre el tema se suspendieron entre 1982 y 1985, reiniciándose brevemente con la suscripción de la Declaración del Arauca (14 de junio de 1985), suspendiéndose de nuevo ese mismo año, hasta reiniarse en 1989 con la firma del Acuerdo de Caracas (3 de febrero de 1989), en el cual los mandatarios de ambos países designan dos altos comisionados por cada país para realizar un inventario de todos los “asuntos pendientes” entre ambos Estados, como se explicó antes. Dentro del mecanismo comentado, las competencias de la comisión negociadora (CONNEG), son referidas a la administración de los temas de carácter limítrofe y se puede identificar que en los tres últimos temas de su competencia, se puede enmarcar el caso del río Arauca y las incidencias de caño Bayonero, debido a su complejidad.

Por otro lado, para el tratamiento de los aspectos técnicos referidos al manejo de las cuencas hidrográ-

ficas, ambos países convinieron conformar comisiones técnicas binacionales y posteriormente se crea la Comisión Técnica Binacional para el Estudio de las Cuencas Hidrográficas de Uso Común (CTB-CHUC) en 1998, a los fines de analizar la situación de las cuencas internacionales de los ríos Carraipía-Paraguachón, Catatumbo y Arauca y así definir los trabajos técnicos necesarios.

Debido a los efectos que trajo consigo la modificación de la dinámica fluvial del río Arauca, a finales de la década de los 80 y principios de los 90 las inundaciones en la zona se hicieron más recurrentes, así como los efectos colaterales sobre los centros poblados y las actividades que se desarrollan en la zona. En la ciudad del Arauca (Colombia) los pobladores han ejercido presión para que se construyan obras de defensa, las cuales fueron erigidas de forma unilateral, en el marco del “Programa de Defensa del río Arauca y Prevención de inundaciones”, adelantado por la alcaldía mayor de Arauca en la década de los 90; sin informar debidamente al Gobierno Venezolano. Esta acción parece repetir la misma práctica señalada en el caso de la cuenca del Carraipía-Paraguachón.

Tales acciones han conllevado a que Venezuela también realice acciones para minimizar los efectos del río Arauca sobre su territorio, por lo cual, ambos países han venido realizando obras de ingeniería unilaterales que alteran o eventualmente pudieran alterar, aún más, la dinámica del río, dejando a un lado el manejo conjunto de la misma. Una muestra de estas acciones unilaterales se da a partir de 1996, cuando se conoce sobre una iniciativa colombiana para conformar la asociación de municipios de la cuenca del río Arauca, como mecanismo que permita canalizar los esfuerzos tendientes a promover un ordenamiento ambiental consecuente con la oferta ambiental de la cuenca; a la cual no se le da el interés adecuado. No obstante, se retoma esta iniciativa durante la reunión de gobernadores de los llanos colombianos y venezolanos (Guasdualito, 8 de noviembre de 2002), con la firma del acta de intención para el manejo integral de la Cuenca Internacional del río Arauca, entre el departamento de Arauca y el estado Apure. Estas iniciativas se desarrollan fuera del marco de negociación bilateral técnico establecido como es la Comisión Técnica Binacional para el Estudio de las Cuencas Hidrográficas de Uso Común. Como se notó en el caso de la cuenca del río Carraipía-Paraguachón, a todas luces estas acciones unilaterales del lado colombiano son recurrentes y están afectando el recurso hídrico, la estabilidad de los límites internacionales y finalmente los propios esquemas de cooperación que los dos países aproba-

ron. En este punto, conviene aclarar varios aspectos desde la perspectiva jurídica y técnica: En Venezuela los gobernadores no tienen facultad para comprometer administrativa o económicamente al Estado venezolano, ya que de acuerdo a la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999) en su artículo 236 es atribución y obligación del Presidente de la República, de acuerdo al numeral 4 “Dirigir las relaciones exteriores de la República y celebrar y ratificar los tratados, convenios o acuerdos internacionales”; además, el artículo 154 estatuye “Los tratados celebrados por la República deben ser aprobados por la Asamblea Nacional antes de su ratificación por el Presidente o Presidenta de la República...”. En contraposición, la Constitución de Colombia otorga ciertas competencias a los mandatarios locales y, además, la Ley 191 de 1995 (Ley de Fronteras), establece un marco de acción en su artículo 7: “los Gobernadores y Alcaldes de los Departamentos y Municipios Fronterizos... podrán celebrar con las autoridades correspondientes de las entidades territoriales limítrofes del país vecino... convenios de cooperación e integración...”.

Los trabajos y acciones que se adelantan en las cuencas hidrográficas internacionales representan una forma de actuación internacional, y por tanto deberían ser manejadas dentro de los esquemas que ambos países han aprobado. Las iniciativas de dragado y/o trabajos específicos son un tema de carácter eminentemente internacional y tienen un impacto directo en la agenda limítrofe y fronteriza entre ambos países. Según los acuerdos internacionales suscritos entre ambos países, las acciones en el río Arauca deben ser canalizadas a través de la ETBRAI, mientras que el tema del manejo de las cuencas está previsto en el marco de la Comisión Técnica Binacional para el estudio de las cuencas hidrográficas de uso común; a su vez sujetas a las coordinaciones que se den en el seno de la CONEG, de acuerdo a sus competencias y como el órgano negociador de más alto nivel. De otra forma, no sólo se estarían desconociendo los órganos políticos y técnicos acordados para abordar las especificidades del Arauca, entre otros aspectos, sino además, la metodología de la globalidad en las negociaciones, la cual versa sobre la necesidad de avanzar paralelamente en los asuntos pendientes entre ambos países, y con ello, la contradicción a lo establecido de manera bilateral en el Acta de San Pedro Alejandrino y los Acuerdos que le anteceden. En la actualidad, no ha habido mayores cambios en la situación que se plantea entorno al río Arauca. Además, desde el año 2006 las negociaciones bilaterales prácticamente se han suspendido y no se han reunido los órganos

técnicos ni políticos con competencia en la materia; por lo cual, el sistema fluvial del río Arauca sigue siendo el único que no se le ha dado debido tratamiento binacional, al todavía estar pendiente la creación de un Comité Técnico Binacional para el estudio integral de su cuenca, y los problemas se siguen abordando según la inmediatez de la situación.

3. El extraño caso del río Barima

Los asuntos relativos a los cursos fluviales internacionales con Colombia, tal y como hemos analizado y con Brasil, han sido fruto de la negociación y el diálogo directo en el marco del derecho internacional. El río Barima, es el único caso de un río venezolano sometido a una decisión judicial internacional que lo somete a un régimen de navegación especial, aunque en la práctica esta internacionalización nunca se ha materializado. Todos estos aspectos jurídicos surgieron del Laudo Arbitral de París de 1899 que fuera impuesto a nuestro país y que se cataloga como nulo e írrito.

Características del río Barima

La información sobre la cuenca del río Barima es muy variada con respecto a las fuentes venezolanas. Sin embargo, el elemento clave para comprender la complejidad de estas fuentes, tiene que ver con los documentos oficiales influidos por un proceso jurídico como es la reclamación entre Venezuela y el Reino Unido de la Gran Bretaña, quien posteriormente le da la independencia a la República Cooperativa de Guyana, enmarcado en el “Convenio de Ginebra firmado entre Venezuela y el Reino Unido el 17 de febrero de 1966 en consulta con el Gobierno de la Guayana Británica” (c). El Convenio de Ginebra estable en su artículo 1, que ambas partes deben “buscar soluciones satisfactorias para el arreglo práctico de la controversia entre Venezuela y el Reino Unido”. Durante las últimos cinco décadas los dos países han intentado esta solución práctica sin respuestas. Siguiendo el Acuerdo de Ginebra, las partes pusieron el tema en manos del Secretario General de la Organización de las Naciones Unidas y el propuso el mecanismo de un buen oficiante, pero hasta la fecha no ha habido mayores avances. En ese sentido, para las fuentes oficiales venezolanas, sería muy difícil reconocer cualquier cifra del curso fluvial y su ubicación en el territorio de Guyana, ya que una declaración oficial podría ser usada en foros diplomáticos o jurídicos internacionales con diversas consecuencias; es decir, un reconocimiento por parte del gobierno que una parte del territorio está en otro país, en este caso Guyana. De tal forma, las cifras que empleadas son, en la mayoría de los casos, de

fuentes internacionales fiables.

El río Barima tiene una longitud de 317 km y nace a una altura de unos 300 msnm, en el extremo noroccidental de la Guayana Esequiba (Morales 1999), discurrendo aguas abajo hasta desembocar en el caño Boca Grande del Delta del Orinoco (Figura 4). La superficie de su cuenca comprende aproximadamente 8.700 km², que por ahora se extiende en un 11.79% en territorio venezolano y el resto bajo control actual del territorio de la República Cooperativa de Guyana (Aaron et al. 1999). Los ríos más importantes que drenan por su margen derecha son: Kaliaku, Wana, Arakakaparu, Manikuru, Manari y Koriabo, mientras que por la margen izquierda los Arakita, Caituma Aruka, Labba, Makwaibaru, Waaima, Baraka y Huena. Además de ello, la litología predominante (granito) en el tramo superior ha originado saltos como Baramba y Goring entre otros.” (Morales 1999). El río Barima a su vez reviste especial importancia desde la perspectiva de la comunicación fluvial, toda vez que sirve de conexión, a través de embarcaciones de menor calado, entre la Guayana Esequiba y el río Orinoco hasta tener acceso al Océano Atlántico (d).

La regulación legal

Venezuela se estuvo sumida en grandes conflictos como la guerra de independencia, las guerras civiles y finalmente la guerra federal, por lo que el tema del control soberano sobre el territorio Esequibo ha estado activo en la opinión pública internacional. Desde entonces, la diplomacia por el control territorial al este del país se vio desplazada a un segundo plano. El propio General Simón Bolívar había advertido sobre las permanentes ansias de expansión de holandeses y británicos en esa zona desde finales del

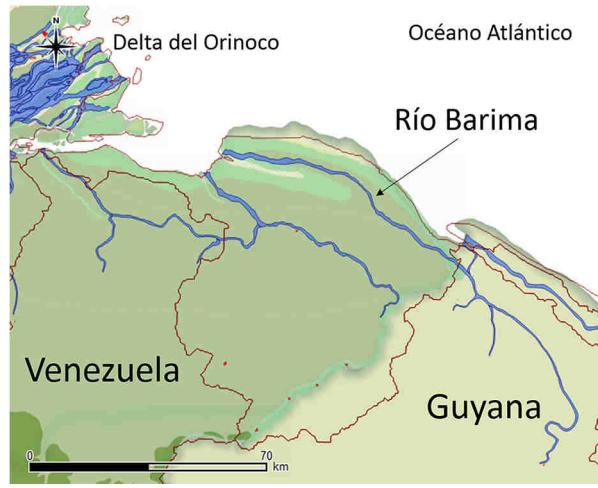


Figura 4. Cuenca del río Barima. Imagen elaborada con diferentes capas digitales.

siglo XVIII. Ya el 3 de octubre de 1899, el tribunal arbitral constituido para decidir la controversia limítrofe entre Venezuela y el Reino Unido pronunció su sentencia, que será la base fundamental de la regulación internacional del río Barima. Este laudo le otorgó al Reino Unido 159.000 km² al oeste del río Esequibo, que siempre han sido considerados territorio venezolano. Este laudo fue el fruto de un largo proceso diplomático, cuyo antecedente inmediato fue el Tratado Arbitral de Washington de 1896, en el cual a Venezuela se le impone una solución jurisdiccional sin que pudiera estar presente en la propia comisión arbitral.

A diferencia de algunos de los aspectos de la historia diplomática y jurídica internacional de Venezuela, este tema ha sido estudiado con bastante atención (e), tanto por historiadores como por especialistas en Derecho Internacional, mucho más por el hecho que esta sentencia arbitral se encuentra regulada por un tratado posterior que está en plena vigencia, conocido como el Acuerdo de Ginebra de 1966, en el cual pone el tema del diferendo bajo la supervisión de la Organización de las Naciones Unidas (f), tal y como se mencionó con anterioridad.

La controversia entre Venezuela y el Reino Unido por el territorio Esequibo se remonta al mismo momento en que el Imperio Británico toma control de las posesiones holandesas en Guayana: Berbice, Demerara y Esequibo, por disposición del tratado suscrito entre el Reino de los Países Bajos y la corona inglesa en 1814. Estos límites fueron ratificados con la corona británica en ocasión de las relaciones con la Federación Gran Colombiana y se estableció claramente el río Esequibo como límite oriental (González y Donis 1989).

A partir de la visita a las colonias de la Guayana Inglesa, por parte del naturalista prusiano Robert H. Schomburgk en 1835, comenzaría una permanente acción expansionista por parte del Imperio Británico, que se materializará en las conocidas “líneas Schomburgk”, la cual incluirá para sus mapas fechados en 1839 más de 142.000 km² de territorio venezolano, incluidas las bocas del río Amacuro (Ojer 1969), que será de gran importancia para el tema en desarrollo. La situación por el control de los espacios guayaneses, donde se explotaba el oro en Venezuela desde tiempos ancestrales, lleva a la corona inglesa a decretar unilateralmente un límite que incluía 203.000 km² de territorio venezolano, donde se añadieron las minas de El Callao, nueva providencia y otras cercanas al cauce del río Orinoco. Tras el incidente del “Yuruan”, conocido así por la captura la captura de un grupo de policías inglesas por fuerzas venezolanas, las relaciones diplomáticas entre

Venezuela y Gran Bretaña se rompen en 1895. Una amplia reseña sobre este incidente la ofrece Núñez (1980). Este hecho le permitirá a Inglaterra emitir un ultimátum a Venezuela, planteando la aceptación de una de las líneas Schomburgk más amplias. Venezuela propone una solución arbitral que es apoyada por el gobierno de los Estados Unidos de América. El Presidente Grover Cleveland el 20 de julio de 1895 declara que Inglaterra debería someterse a un arbitraje, esta decisión fue tomada con el apoyo del Congreso de la Unión Americana con una decisión del 17 de diciembre de ese año (g).

Para el objeto de este trabajo, reviste mayor importancia la llamada “cláusula fluvial” (Bacalao 1989), contenida en el texto arbitral que impuso un régimen especial para los cursos fluviales en la zona limítrofe del Esequibo y en particular el río Barima. En el compromiso arbitral suscrito entre Venezuela, el Reino Unido y los Estados Unidos de América, no hacen ninguna mención a la posibilidad de establecer un régimen en los ríos, tampoco hay mención en las reglas de procedimientos suscritas (h). Sin embargo, en el último aparte del laudo arbitral suscrito por el tribunal designado para resolver la controversia y bajo la presidencia del importante abogado e internacionalista Federico de Martens, se especifica que se ha establecido la frontera entre Venezuela y el Imperio Británico, la siguiente cláusula:

“Al fijar la mencionada línea de demarcación los Árbitros consideran y deciden que, en tiempo de paz, los ríos Amacuro y Barima quedarán abiertos a la navegación de los buques de comercio de todas las naciones, salvo todo justo reglamento y el pago de derecho de faro u otros análogos, a condición que los derechos exigidos por la República de Venezuela y por el Gobierno de la Colonia de la Guayana Británica con respecto del tránsito de buques por las partes de dichos dos que respectivamente les pertenecen, se fijen a la misma tasa para los buques de Venezuela y los de la Gran Bretaña, la cual no excederá a la que se exija de cualquiera otra nación. Queda también entendido que ningún derecho de aduana podrá ser exigido, ya por la República de Venezuela, ya por la colonia de la Guayana Británica, con respecto de mercaderías transportadas en los buques, navíos o botes pasando por dichos ríos; pero los derechos de aduana serán exigibles solamente con respecto de las mercaderías desembarcadas respectivamente en el territorio de Venezuela y en el de la Gran Bretaña.” (Sureda 1980 Venezuela y Gran Bretaña. Historia de una Usurpación).

Esta imposición del laudo arbitral puede ser estudiada desde varios puntos de vista. En primer lugar ha sido ampliamente señalada la ilegalidad de esta disposición como consecuencia del vicio de *ultra petita*, en el cual incurrió el tribunal arbitral al otorgar más de lo solicitado por una de las partes (ver, por ejemplo: Sureda 1980, Bacalao 1989). Esto ha sido asimismo señalado por el Ministerio de Relaciones Exteriores de Venezuela, en el “Informe que los Expertos Venezolanos para la Cuestión de Límites con Guayana Británica presentan al Gobierno” (citado por Sureda 1980), de la siguiente forma:

“No existiendo antecedentes de sentencias de esta naturaleza que adolezcan de falta de motivación, los autores y la práctica del derecho internacional admiten en general la nulidad de la sentencia en dos casos: en el de incompetencia del juez (ausencia de un compromiso arbitral o de un tratado de arbitraje válido) o en el caso del exceso de poder (extensión de la decisión sobre materias que no estaban incluidas en la convención arbitral o judicial...”

Este hecho de meridiana claridad y que forma parte de los elementos que permitieron el posterior establecimiento de un nuevo marco legal de tratamiento para la controversia, no reviste gran complejidad desde el punto de vista legal o jurisdiccional, tal y como lo afirma Bacalao (1989) sobre la navegación fluvial en Venezuela. El resultado directo del desarrollo de la cláusula fluvial en el curso de los ríos Amacuro y Barima implica la creación de un régimen de internacionalización de esos cursos fluviales, totalmente ajeno a la posición venezolana sostenida a lo largo de toda su práctica internacional, que conviene analizar detenidamente.

La decisión del tribunal arbitral presidido por el Juez Federico de Martens, debe ser entendida dentro del contexto temporal en cual se desarrolla el caso. A finales del siglo XIX y principios del siglo XX, han sido definidas por Koskenniemi (2004) como la era del renacimiento y civilización para el Derecho Internacional público. En especial para el caso de los abogados formados en la primera parte del siglo XIX, esta tarea civilizadora presentaba un compromiso aún mayor, como sería el caso de De Martens. En Derecho Internacional, cuando se refiere a la administración internacional, hace referencia a elementos que se consideran fundamentales destacar para de alguna manera comprender la decisión respecto a la imposición de la internacionalización de los cursos fluviales de los ríos Barima y Amacuro, quien no limita la acción de internacionalización

simplemente a consideraciones materiales o morales a disposición del estado en el cual se desarrolla esta forma de apertura, sino que requiere “unas ciertas condiciones de carácter general”, donde destaca especialmente los tratados internacionales, dentro de un contexto general de las fuentes de derecho internacionales. Al mismo tiempo, el presidente del tribunal arbitral de París condenó la perdida territorial más importante sufrida por Venezuela, sosteniendo que “la regla suprema del derecho de administración internacional debe ser la utilidad práctica.”

La oportunidad de un tratado que autorizaba la solución de una controversia territorial, donde uno de los estados partes no está presente, en este caso Venezuela, representada por los Estados Unidos de América, permite otorgar a los ríos que son claves para el completo desarrollo de la red fluvial latinoamericana, un régimen común con el establecido en el continente europeo, que también es aplicado de manera directa sobre las colonias en el territorio africano. En consecuencia, el árbitro decide excederse del compromiso arbitral, en una aproximación que considera el juez presidente como civilizador de zonas selváticas deshabitadas. Esta interpretación se ve claramente sustentada con el famoso memorando de Severo Mallet-Prevost publicado en el “American Journal International Law” en 1949 (Schoenrich 1949). Contemporáneamente, la idea de internacionalización difiere de la apertura de un curso fluvial a la navegación internacional por parte del Estado de manera soberana o por concesión contractual otorgada por el Estado. Bacalao (1989), agrega al respecto lo siguiente:

“La internacionalización de un río comporta severas restricciones al ejercicio de la soberanía de un Estado. En estas circunstancias repugna tanto a la justicia como a los principios generales de derecho, que un acto de esta naturaleza no esté fundado en la voluntad expresa del o de los Estados otorgantes. Lamentablemente la internacionalización de un río, con frecuencia tuvo su origen en la prepotencia del más fuerte frente al más débil.”

Esta idea sobre el peligro del expansionismo imperial británico a través de los cursos fluviales, estuvo siempre entre los pensamientos de los venezolanos encargados de adelantar las negociaciones. En los alegatos preparados por Rafael F. Seijas, en 1888, se consignan las siguientes preocupaciones sobre el problema fluvial y en particular del río Barima, que fueran publicadas en el diario “El Venezolano”:

"Barima es el paso que dará la dominación de la América del Sur á una potencia poderosa que la posea, con más seguridad que los Dardanelos en Europa y Asia. Barima es más aquí, que el Sund en el Báltico, que los lagos en el Norte América y que Cuba en el seno mexicano. Las ramificaciones del Orinoco y la inmensa navegación fluvial que presenta con sus afluentes, está descrita ya en varios autores. Para alcanzar á Buenos Aires sólo falta un arrastradero de 12.000 varas, menos de dos leguas. Ahora ¿permitirá el continente americano esta usurpación? ¿Nueva Granada dejará á los ingleses las llaves del Meta? ¿El Perú y Bolivia les dejarán las del Ucayaly? ¿El Ecuador las del Napo y el Río Branco? ¿El Brasil las del Río Negro, Marañon y río Branco? ¿Paraguay y Montevideo las de los afluentes del Marañon conexionado con el Orinoco? La imaginación se pierde en lo que puede dominar la potencia que en la barra de Orinoco diga: *esto es mió*, y lo sostenga con doce estimbotes. Doce estimbotes que valen medio millón !!!

"Consentida la posesión de Barima en Amacuro, nada impide la del Araure y por el contrario queda autorizada. Lo mismo la del Acure, la del Toro, la del Mánamo, la del Caroní, la del Caríri, la del Pao, la del Apure, la del Ventuari, la del Guaviare, grandes afluentes del Orinoco y el menor de ellos tan robusto como el Magdalena" (Sejas 1888).

De la lectura del texto a que hace referencia Sejas en uno de los documentos oficiales preparados para el juicio en el Tribunal Arbitral de París, se puede evidenciar el conocimiento general sobre la ambición inglesa en cuanto al control de los cursos fluviales y la significación geopolítica de los mismos.

Desde el punto de vista jurídico, el gobierno venezolano ratificó todos sus argumentos en cuanto al control de los espacios fluviales y en particular en este caso, como los ríos que se interconectaban con el Orinoco eran parte integrante del territorio venezolano. El laudo arbitral, como hemos visto, solo creó una vía internacional y no otorgó dichos ríos al Imperio Británico. Las condiciones que se establecieron para el uso de las vías fluviales fueron las siguientes:

1. Que en tiempo de paz, los ríos Amacuro y Barima quedarán abiertos a la navegación de los buques de comercio de todas las naciones.
2. La navegación quedaba reglamentado por los dos estados, estableciendo especial atención al pago de derecho de faro u otros análogos, con respecto

del tránsito de buques por las partes de los buques de Venezuela y los de la Gran Bretaña, la cual no excederá a la que se exija de cualquiera otra nación.

3. Podrán establecer derechos de aduana con respecto de mercaderías transportadas en los buques, navíos o botes pasando por dichos ríos; pero los derechos de aduana serán exigibles solamente con respecto de las mercaderías desembarcadas respectivamente en el territorio de Venezuela y en el de la Gran Bretaña.

El desarrollo expansionista británico, que se concretó con la apropiación de 150.000 km² y el corolario de la internacionalización del curso de los ríos Barima y Amacuro, tienen una interpretación jurídica, bastante laxa por parte de los teóricos contemporáneos de la decisión. Señala Koskenienmi (2004), que para finales del siglo XIX, la idea del imperialismo se constituía para muchos abogados especialistas en Derecho Internacional en un profundo dilema, tomando como ejemplo los casos de colonialismo en África, especialmente después de la Conferencia de Berlín de 1885.

Por una parte, autores como Castellini se quejaban de las acciones violatorias de derechos humanos por parte de las potencias coloniales y al mismo tiempo, Theodor Woosley (ambos autores citados por Koskenienmi 2004) se refería al derecho natural de ciertos estados en la comunidad internacional. Señala asimismo el mismo autor que sobre el tema de las relaciones entre el imperialismo y el Derecho Internacional Público muy poco se ha escrito, y comenta como ejemplo que en la Enciclopedia de Derecho Internacional del Instituto Max Planck ni siquiera existe la palabra como una entrada dentro del índice. Igualmente, señala que el tema siempre ha sido tratado dentro de las formas de adquisición de territorio por parte de los estados (Koskenienmi 2004).

El texto del Acuerdo de Ginebra suscrito por el Gobierno de Venezuela, el Reino Unido y los representantes de la Guyana Inglesa establece la necesidad de buscar una solución práctica a la problemática presentada como consecuencia de la calificación por parte de Venezuela del laudo como nulo e irrito. Así, el artículo V de dicho acuerdo se refiere a que "nada de lo contenido en este Acuerdo será interpretado como una renuncia o disminución por parte (de los Estados involucrados) de cualquiera bases de reclamación de soberanía territorial en los territorios (de las partes) o de cualquiera de los derechos que hubiesen hecho valer previamente, o de reclamaciones de soberanía territorial...".

En el mismo sentido, el texto del tratado que entre Venezuela y la República Cooperativa de Guyana rige las relaciones entre ambos estados en su diferendo territorial, no hace ninguna referencia expresa sobre los temas que no están directamente vinculados al tema de la soberanía territorial. Los derechos conexos vinculados al Laudo y que fueron dictados en expresa *ultra petita* como se ha señalado anteriormente en la investigación no fueron previstos en el acuerdo. Por otra parte, el Estado venezolano ha desconocido (esto es: no ha aceptado) de manera sistemática, por lo menos desde la suscripción del Acuerdo de Ginebra en 1966, el régimen de internacionalización de los ríos Amacuro y Barima, constituyéndose en una práctica general del Estado que ha sido reconocida por la comunidad internacional.

Por otro lado, el Gobierno Venezolano en 1968 promulgó el Decreto No. 1152 por el cual se estableció una línea de base recta entre la línea divisoria del río Esequibo y punta Guarapiche. El artículo 3, estableció que “se hace expresa reserva de los derechos de soberanía de Venezuela sobre la zona de mar territorial cuya restitución se reclama de Guyana, es decir, la faja de tres millas de ancho a lo largo de las costas de territorio comprendidas entre la boca del río Esequibo y la boca del río Guanina así como las aguas interiores en dicha zona delimitadas por la línea de base recta fijada” (i).

Con esta reglamentación interna, el Estado venezolano cierra el acceso al río Orinoco a través de los diversos canales de navegación y en particular queda bajo la jurisdicción de las aguas interiores los ríos Amacuro y Barima, y ratifica su voluntad de desconocer cualquier reglamentación que pudiera estar valida del laudo de 1899. Por todo lo anterior, se puede afirmar que el régimen de internacionalización de los cursos fluviales establecido en el Laudo Arbitral de París de 1899 no está vigente en la relación bilateral, ni en el Derecho Internacional venezolano.

III. OBSERVACIONES FINALES

El editor propuso el tratamiento de tres cursos fluviales con importancia excepcional para Venezuela: los ríos Carraipía-Paraguachón, la fuga Bayonero en el río Arauca y el río Barima. Tres casos complejos y únicos al mismo tiempo en el derecho internacional fluvial venezolano. El río Carraipía-Paraguachón es un caso piloto para el resto de las cuencas con Colombia; la fuga Bayonero es la principal desviación de una vaguada en un río fronterizo y el río Barima es el único río que ha sido sometido a la apertura a la navegación por parte de una decisión internacional, pero sin cumplimiento de hecho, debido a las cir-

cunstancias jurídicas a las cuales se encuentra sometido. Aunque los tres ríos son únicos y diferentes en su problemática, tienen características comunes que servirán para presentar algunas conclusiones:

1. Los tres ríos presentados en este capítulo, parecieran ser el punto focal para los temas relacionados con las fronteras y límites del país.
2. Los tres cursos fluviales, en cada una de las características propias que se explicaron a lo largo del capítulo, son contenciosos abiertos para la diplomacia venezolana. Ninguno de los temas planteados en los ríos Carraipía-Paraguachón, Arauca y Barima ha sido solucionado por los medios diplomáticos pactados en el derecho internacional venezolano para su solución.
3. La condición de cursos de aguas transfronterizos le imponen a la república un ejercicio consensuado de las acciones en los mismos para no deteriorar la posición jurídica que se ha consolidado en la práctica diplomática por décadas.
4. En los años recientes no se han podido resolver los principales problemas planteados. La paralización de las negociaciones respecto a los ríos, ha impactado e impactará no solo su dinámica, sino también la disponibilidad y calidad del recurso hídrico y por consiguiente el aprovechamiento de las cuencas en el territorio venezolano, por ser país aguas abajo; esto sin dejar de lado su influencia sobre el amplio espectro fronterizo y limítrofe que representa para el país y sus países vecinos, considerando que algunos de los ríos fungen como límite internacional entre ellos.

IV. BIBLIOGRAFÍA

- Aaron T. W., Natharius, J. A., Jeffrey J. Danielson, J. J., Ward, B. S. y Pender, J. K. 1999. International River Basins of the World. *International Journal of Water Resources Development*. 15(4): 387-427.
- Area, L. 2001. *El Golfo de Venezuela. Documentación y Cronología*. Volumen III (1989-1999). Universidad Central de Venezuela.
- Bacalao, I. 1989. La navegación fluvial internacional. Posición de Venezuela. Política Internacional. *Revista Venezolana de Asuntos Mundiales y Política Exterior*. No. 15. julio septiembre.
- Castro, V. 2009. *El necesario enfoque participativo e integrado para la gestión ambiental en las cuencas hidrográficas*. Proyecto de cuencas hidrográficas Cuba-Venezuela. Taller Nacional Sobre Gestión Integrado de Recursos Hídricos (5 marzo 2009, La Habana, Cuba). <http://cep.unep.org>.
- Colombia-Venezuela. 2001. *Diagnóstico conjunto de la Cuenca del Río Carraipía-Paraguachón*. Edición Mimeografiada. Ciudad N/D.
- Comité Técnico Binacional (Colombia-Venezuela). 1991. *Estudio Conjunto del Aprovechamiento Integral y Conservación*

- de los Recursos Hídricos del Río Carraipía-Paraguachón.* Caracas.
- Corpoguajira 2007. *Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Carraipía Paraguachón.* Corporación Autónoma Regional de La Guajira, Corpoguajira. Informe técnico.
- Corpoguajira 2008. *Avances del Plan de Administración y Aprovechamiento de Aguas de Maicao.* Corporación Autónoma Regional de la Guajira. <http://www.minambiente.gov.co/>
- Fernández, J. 2010. *Cuencas Hidrográficas Transfronterizas. Importancia de las negociaciones con Colombia sobre la seguridad y defensa integral del país.* Proyecto presentado como requisito para optar al Grado de Especialista en Negociación y Resolución de Conflictos en el marco de la Seguridad y Defensa Integral de la Nación.
- González, H. y Donis, M. 1989. *Historia de las Fronteras de Venezuela.* Cuadernos Lagoven. Refolit. Caracas.
- Instituto Nacional de Estadística. 2014. *XIV censo nacional de población y vivienda: resultados total nacional de la República Bolivariana de Venezuela.* Caracas, Venezuela.
- Koskenniemi, M. 2004. *The gentle civilizer of nations. The rise and fall of international law 1870-1960.* Cambridge University Press. Cambridge. UK.
- MARNR 2000. *Informe nacional sobre la implementación de la convención de Naciones Unidas de lucha contra la desertificación y mitigación de la sequía.* Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Venezuela. Caracas.
- Montoya, J. V., Osío, A., Pérez, M. C. y Pineda V. 2017. Los ríos de los llanos de Apure. Capítulo 4. (pp: 75-107). En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.). *Ríos en riesgo de Venezuela. Vol. I.* Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Morales, F. 1999. *Geografía física del territorio en reclamación Guayana Esequiba.* Fondo Editorial de Humanidades y Educación. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Bernardo Núñez, Enrique. 1962. *Tres Momentos en la controversia de límites de Guayana.* Editorial Monte Avila. Caracas. 1º reimpresión de Monte Avila.
- Ojer, P. 1969. *Robert H. Schomburgk. Explorador de Guayana y sus líneas de frontera.* Universidad Central de Venezuela, Facultad de Humanidades y Educación. Instituto de Estudios Hispanoamericanos. Caracas.
- Putnam, R. 1988. Diplomacy and Domestic Politics: The Logic of Two-Level Games. *International Organization.* (42)3: 427-460.
- Sainz Borgo, J. C. 2008. *Derecho Internacional Fluvial de Venezuela.* Serie Trabajos de Grado No. 14. Facultad de Ciencias Jurídicas y Políticas. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Schoenrich, O. 1949. Memorando de Servero Mallet-Prevost. *The American Journal of International Law.* 43(3).
- Seijas, Rafael J. 1888. *El Derecho Internacional Venezolano. Límites Británicos de Guayana.* Caracas, Imprenta y Litográfica del Gobierno Nacional. Reproducción facsimilar del Ministerio de Relaciones Exteriores (1981). Colección Fronteras. Tomo 8. Editorial Cromotip. Caracas.
- Sureda, R. D. 1980. *Venezuela y Gran Bretaña. Historia de una Usurpación.* Universidad Central de Venezuela, Caracas;

Anexos

- Tratado de 1941. Artículo 2º. Los Estados Unidos de Venezuela y la República de Colombia se reconocen recíprocamente y a perpetuidad, de la manera más amplia, el derecho a la libre navegación de los ríos que atraviesan o separan los dos países. Las embarcaciones, tripulantes y pasajeros deberán sujetarse únicamente a las leyes y reglamentos fiscales, de higiene y de policía fluvial a los cuales serán idénticos en todo caso para venezolanos y colombianos, e inspirados en el propósito de facilitar la navegación y el comercio de ambos países. Los reglamentos de que aquí se habla deber ser tan uniformes y favorables a la navegación y al comercio como sea posible. Parágrafo 1º: En ningún caso se establecerán mayores derechos o gravámenes ni más formalidades para los buques, efectos y personas de los venezolanos en Colombia ni de los colombianos en Venezuela de los que se hayan establecido o se establezcan para sus respectivos nacionales. Parágrafo 2º. Es entendido, y así se declara, que los derechos de navegación a que se refiere el presente Tratado no incluye la de puerto a puerto del mismo País o de cabotaje, que queda reservada a los nacionales de cada país y sometido en cada uno de ellos a sus respectivas leyes
- Modus Operandi, es un término jurídico internacional, que representa un tratado simplificado y que establece obligaciones para los estados firmantes, la mayoría de ellas de carácter instrumental o procedimental.
- Convenio de Ginebra firmado entre Venezuela y el Reino Unido el 17 de febrero de 1966 en consulta con el Gobierno de la Guayana Británica, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela del 15 de abril de 1966 Numero 28.008.
- Derechos venezolanos de soberanía en el Esequibo. <http://esequibo.mppre.gob.ve/index.php/home>.
- Entre los textos más relevantes están: Tres Momentos en la controversia de límites de Guayana (Bernardo Núñez 1980) y la saga de Rafael Sureda Delgado: Venezuela y Gran Bretaña. Historia de una Usurpación (1980), Betancourt y Leoni en la Guayana Esequiba (1984), La Guayana Esequiba: dos etapas en la aplicación del Acuerdo de Ginebra (1990).
- Revisar la controversia en revisar: http://www.mre.gov.ve/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1910&Itemid=131
- Para una visión completa de la participación de los Estados Unidos, ver: Consalvi, Simón Alberto. (1992). Grover Cleveland y la controversia Venezuela-Gran Bretaña. *La historia Secreta.* Tierra de Gracia Editores. Virginia, Estados Unidos de América.
- Texto completo del compromiso arbitral en: Hernández, D. 2005. *Historia Diplomática de Venezuela 1830-1900.* Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Caracas.
- Venezuela, Decreto No. 1152 por el cual se estableció una línea de base recta entre la línea divisoria del río Esequibo y punta Guarapiche en el Territorio Federal Delta Amacuro. Caracas, 8 de Julio de 1968.

Colección Recursos Hidrobiológicos de Venezuela

Serie

Ríos en Riesgo de Venezuela 1

Edición a cargo de
Douglas Rodríguez Olarte

Ante la enorme, diversa y gratuita oferta de servicios ecosistémicos que los ríos ofrecen, nuestra respuesta histórica ha sido la depauperación generalizada de los mismos. Si ahora usted alza la vista y observa con cuidado su entorno natural, urbano o rural, es muy probable que detecte la presencia de un río -una quebrada, un arroyo- en las cercanías y, casi con terrible seguridad, ese río estará contaminado, transfigurado o seco. Los ríos son fundamentales para la vida, pero son ecosistemas frágiles, están en riesgo y se extinguen, situando en peligro los componentes de la diversidad biológica y la seguridad alimentaria, en suma: el patrimonio nacional.

Los Ríos en Riesgo de Venezuela es una serie editorial que practica la comunión entre especialistas de diferentes disciplinas de la historia natural y de las ciencias sociales para generar información actualizada, acertada y diversificada sobre los ríos de Venezuela. Cada volumen consta de secciones donde se tratan desde la geografía y las caracterizaciones de las regiones hidrográficas, sus cuencas y ríos -incluyendo casos especiales- hasta los aspectos y eventos transversales que pueden ser reconocidos en la mayoría de los ríos, como son la minería, el cambio climático o la legislación ambiental.



Universidad Centroccidental
Lisandro Alvarado

