

Título

Subtítulo

Subtítulo

Darihana Linares Laureano *Estudiante de Lic. en Geografía Mención Recursos Naturales y Ecoturismo, Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD)*

Resumen del manuscrito

Keywords: Geomorfología fluvial, Morfometria de cuencas

1 Introducción

Desde hace siglos atrás el hombre ha buscado la manera de explicar y entender las distintas formas que el paisaje terrestre (relieve) posee. Autores numerosos han investigado la génesis de estas nociones geomorfológicas, remontándose a tres siglos atrás. Autores como Hutton, Playfair y Lyell, sirvieron de antecesores o bases para la ciencia geomorfológica. Tras su consolidación como ciencia en Francia numerosos autores fueron demostrando la importancia de esta ciencia, incluso ramificándola (climática, eólica, litoral, glacial, estructural, tectónica, kárstica y fluvial; siendo la última de interés para esta investigación), para mayor eficacia en sus estudios.

Los estudios en la geomorfología fluvial a nivel mundial son numerosos y han servido para explicar cómo los drenajes de los ríos y sus redes hidrográficas son importantes para la geomorfología, ya que estas redes fluviales son parte de los procesos de modelado más activos en la formación del relieve y que permiten mensurar la configuración del mismo. Para los estudios en geomorfología fluvial, se hace uso del análisis morfométrico de cuencas hidrográficas. La morfometría de cuenca se ha convertido en la técnica cuantitativa para el estudio de las cuencas de manera detallada y ordenada. Actualmente en la República Dominicana el uso del análisis morfométrico para estudiar cuencas hidrográficas es poco e insuficiente, a pesar de que la República Dominicana goza de una diversa y extensa red de cuencas hidrográficas, ricas y aprovechables para la aplicación de diversas técnicas con el fin de explicar y entender las propiedades del relieve y su relación con las cuencas fluviales. Por lo que, este estudio es un aporte para dar a conocer la configuración y modelado de la cuenca hidrográfica del río Guayubín, con el fin de fijar parámetros que permitan evaluar esta cuenca fluvial; identificando el aspecto general de la cuenca y de la red, el orden de red y análisis hortoniano, los perfiles longitudinales e índice de concavidad de cursos más largos, y la morfometría de cuenca. En ese mismo orden es imprescindible conocer el concepto de cuenca fluvial o de drenaje, que no es más que el conjunto de cuerpos de agua con un área determinada que fluyen por distintos canales y escurren en un mismo desagüe. Según los autores Gregory y Walling, 1973; y Chorley, 1969 (como citó Gutiérrez Elorza (2008)), una cuenca fluvial compone el espacio determinado en el que se suministran las aguas que discurren por la superficie, el mismo está delimitado tanto por su relieve y su hidrología. También considerada como una unidad imprescindible en geomorfológica.

1.1 Revisión bibliográfica

Aspecto general de la cuenca y de la red

El aspecto general de la cuenca y de la red se refiere a los parámetros hidrográficos que posee la cuenca (la acumulación de flujos y cálculo de su umbral, elevación, depresión, y otros). Según Castillo (2015), la acumulación de flujos señala a todas las celdas que desaguan en una en particular, la misma se adquiere partiendo de la dirección de la corriente o flujo. Venkatachalam et al. (2001) dicen que la acumulación de flujo de una celda se instituye de acuerdo a la sumatoria de los valores de la acumulación de flujo de las celdas próximas que drenan en ella. En cuanto al umbral, según ESRI (2012), se es necesario un raster de acumulación de flujo y la ‘porción mínima de celdas que componen una corriente de agua’. También se refiere a la forma que adquiere la cuenca y a la forma de su red de drenaje, según la conformación de sus ríos y el material rocoso que la compone (patrones de drenaje). Varios autores expresan que existe una conexión entre la estructura que posee la red de drenaje con el material rocoso (Pedraza Gilsanz (1996), Gutiérrez Elorza (2008), Howard (1967), Gregory & Walling (1973)).

Orden de red y análisis hortoniano

El orden de red hace referencia al orden en el que se clasifican los cursos de agua, todo en base a su ramificación. Según Wikipedia (2020), el orden de un curso de agua es siempre un número entero positivo que se usa tanto en Geomorfología como en Hidrología para denotar la magnitud de ramificación que posee una red fluvial. Para Bowden & Wallis (1964), el orden de red sostiene una relación entre las rocas con la configuración de la red fluvial y con los procesos tanto hidrológicos como erosivos. La clasificación de la red se hace de manera jerárquica. Hoy día existen múltiples normas para determinar la jerarquía de una red: Strahler (1952), Horton (1945), Shreve (1967), Scheidegger (1970), Leopold et al. (1964) Hack (1957) y Topological.

Dice Pinilla (1993) que para los años 40 el análisis hortoniano había sentado las bases de lo que hoy es la morfometría fluvial; por lo que la aplicación del análisis hortoniano al estudio de cuencas hidrográficas son imprescindibles. Para Horton (1945), la razón de bifurcación resulta ser la conexión entre el número de redes fluviales de una jerarquía asignada entre el número de redes de jerarquía mayor próxima.

Perfiles longitudinales e índice de concavidad de cursos más largos

El perfil longitudinal de un curso de agua es una línea adquirida al representar las diversas alturas que se presentan desde el nacimiento de este hasta donde desagua (Gutiérrez Elorza (2008)). Según Pedraza Gilsanz (1996), por medio de los perfiles longitudinales es posible fundamentar definiciones en segmentos con geometría heterogénea (cóncavo, convexo y rectilíneo), o pendiente; las acomodaciones para cada parte a una función matemática; e incluso análisis geométricos basados en elementos físicos o evolutivos. Gutiérrez Elorza (2008), dice que el perfil longitudinal es generalmente cónico, aunque esta concavidad no está clara para muchos cursos fluviales. En cuanto al índice de concavidad, este no es más que un indicador que hace posible la evaluación del nivel de torcedura o curvatura del perfil longitudinal (Garzón Heydt, Ortega, Garrote, & others (n.d.)). Se calcula así, la superficie debajo del perfil longitudinal es extraída del total del área debajo del segmento que conecta los dos límites del perfil (Goldrick & Bishop (2007)).

Morfometría de cuenca

El análisis morfométrico abarca un conjunto de índices morfológicos que apuntan a un análisis detallado y cuantitativo de cuencas hidrográficas (Morais & Almeida (2010)). El análisis morfométrico de cuencas hidrográficas se inicia por la ordenación de canales fluviales, con la finalidad de establecer una jerarquía fluvial. Esta, a su vez, consiste en el proceso de establecer la clasificación de determinado curso de agua (o el área drenada que le pertenece) en el conjunto total de la cuenca hidrográfica en la que se encuentra. Aunque, según el autor, esto se logra con la función de facilitar y volver más objetivos los estudios morfométricos sobre las cuencas hidrográficas

(Christofoletti (1988)). En cuanto a la curva hipsométrica de una cuenca Strahler (1952) dice que el porcentaje de la curva hipsométrica no es mas que la relación entre el área de la sección diagonal horizontal de una red de drenaje con una altitud relativa sobre la boca de la cuenca, e incluso estas curvas pueden ser explicadas y relacionadas a través del uso de parámetros bidimensionales. Y referente a la integral Hipsométrica, Fernandez & Rocha (2016) expresa que el cálculo de este índice mide como está distribuida la altitud en una cuenca fluvial.

Este estudio proporciona nueva información sobre la cuenca del río Guayubín en el campo de Morfometría fluvial, sabiendo que este es el primer estudio morfométrico que se realiza a la cuenca; y además este posee un script el cual permite su reproducción sin coste alguno. En específico, se indaga en el aspecto general de la cuenca y de la red, el umbral de acumulación de flujo en numero de celdas, la forma que posee la cuenca y su red de drenaje, considerando la relación que tiene la forma de la cuenca y la forma de su red de drenaje con el material rocoso y el relieve (hidrología-topografía-litología). También, en el orden de red y la implementación del análisis hortoniano se tiene interés en la forma en la que se organiza o clasifica el orden de red asignado a cada curso fluvial en la cuenca, así como la razón de bifurcación de los órdenes de red fluvial. En cuanto a los perfiles longitudinales y sus indices de concavidad se estudia la geometría que posee cada segmento de los cursos, en este caso el de los más largos; tomando en consideración las diversas alturas presentes en el curso. Y, por último, nos interesa examinar la cuenca de forma cuantitativa, para conocer sus medidas básicas (área, perímetro, numero de orden de redes, pendiente, etc.). El interés de este estudio es indar e interpretar lo siguiente: rango de umbral de acumulación, forma de la cuenca, forma de su red de drenaje, fenómenos que pueden afectar a la cuenca, si existe un patrón en la cuenca acorde a su red drenaje, si existe la relación litología-perfil longitudinal e índice de concavidad de los cursos de aguas más largos, y, por último, conocer la relación de las características litológicas y estructurales de la cuenca.

2 Área de estudio

La cuenca del río Guayubín se encuentra entre las morforegiones Cordillera Central y Valle del Cibao Occidental, en la República Dominicana (latitud 19.46°N, longitud -71.41°W), entre las provincias Santiago Rodríguez, Monte Cristi y Dajabón. En la provincia Dajabón engloba de forma completa el municipio El Pino, y de manera parcial los municipios Loma de Cabrera y Partido; en la provincia Monte Cristi contiene parcialmente los municipios Las Matas de Santa Cruz y Guayubín; y en la provincia Santiago Rodríguez comprende los municipios Villa Los Almácigos y San Ignacio de Sabaneta. Los municipios más poblados en el interior de la cuenca son Guayubín (35,923 hab.), San Ignacio de Sabaneta (34,540 hab), y Loma de Cabrera (15,624 hab). (Ver figura 1).

La cuenca del río Guayubín, según Medio Ambiente y Recurso Naturales (2015), abarca una área de 770.35 km². De acuerdo con el mapa de Medio Ambiente y Recurso Naturales (2015), la cabecera del río Guayubín se ubica en la vertiente noroeste de el Cerro La Pelada, en un paraje denominado Palo Amarillo; mientras que sus aguas se vierten en el río Yaque del Norte, en la localidad Guayubín.

3 Materiales y Metodología

Para el estudio morfométrico de la cuenca Guayubín se usó softwares de código abierto como medio para procesar datos estadísticos y modelos digitales con la finalidad de generar las infor-

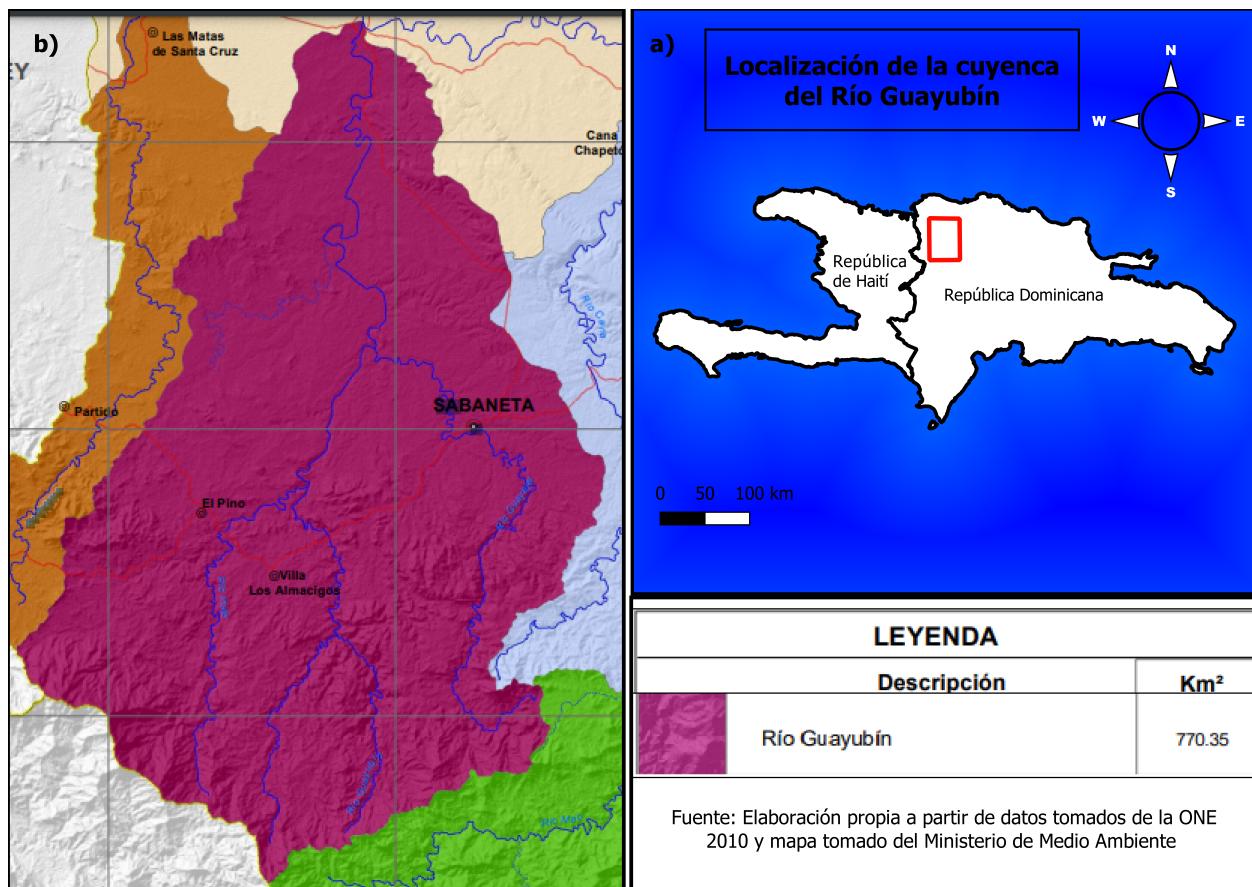


Figure 1: Cuenca del río Guayubín

maciones ha analizar e interpretar.

3.1 Materiales

Materiales	Uso
RStudio	donde se redactó el manuscrito, se procesaron los datos que ofrece el DEM de la cuenca a través de un script en el que se usaron paquetes que produjeran los resultados.
library rgrass7	es una interfaz que permite establecer una conexión entre la versión 7 del sistema de información geográfica GRASS, y R, que crea un entorno GRASS desecharable dentro de R.
library sp	este paquete sirve para la importación, manipulación y exportación de datos espaciales en R, y para métodos que incluyen imprimir / mostrar, trazar, entre otros.
library sf	crea características simples (simple features), que amplían los objetos tipo data.frame con una columna de lista de características simples.
library raster	este paquete proporciona clases y funciones para manipular datos geográficos (espaciales) en formato 'ráster'.
library leaflet	esta función crea un widget de mapa de folletos utilizando htmlwidgets. El widget se puede representar en páginas HTML generadas a partir de R Markdown, y otros.
library leafem	es un paquete que provee una extensión para leaflet usados para paquetes mapview, permite mostrar las coordenadas de la posición del puntero del mouse, consultar valores de imagen a través de puntero del mouse y botones de zoom a capa.
library mapview	el paquete proporciona funcionalidad para ver objetos espaciales de forma interactiva.
library readr	el objetivo de 'readr' es proporcionar una forma rápida y amigable de leer datos rectangulares (como 'csv', 'tsv' y 'fwf').
QGIS with GRASS	para la visualización de vectores y rasters generados con RStudio en una región de GRASS, como la visualización de los mapas Topológicos y Geológicos de la República Dominicana, también, para la creación de algunos mapas de localización.
Google Earth	para observar datos en formato kml generados y exportados de RStudio y así como la representación del relieve del lugar de estudio.
Mapa Topológico de RD	para hacer comparaciones y obtener referencias sobre el relieve.
Mapa Geológico Nacional de RD	para hacer comparaciones y obtener referencias sobre la composición rocosa y los años que datan estas.

3.2 Metodología

Para el desarollo del estudio lo primero a realizar fue crear una region de GRASS en R, importar fuentes y definir la extensión y resolución (DEM). Luego, explorar básicos entre GRASS y R.

3.2.1 Aspecto de la cuenca y de la red de drenaje.

Los parametros de la cuenca fueron calculados por medio de el addon de GRASS GIS `r.watershed` (Charles Ehlschlaeger (2003–2021b)), utilizando un Dem. Los parametros calculados fueron acumulación, elevación, depresión, drenaje, flujo, cuenca y media cuenca, con un umbral de acumulación de flujo de 80 celdas necesarias para que exista una red de agua. Luego, las capas generadas fueron ingresadas a R con la librería `sp` y manejadas con la librería `raster`. Se usó el addon `r.water.outlet` (Charles Ehlschlaeger (2003–2021a)) para la extraccion de la cuenca se usaron los parametros siguientes: de entrada un mapa de direccion de drenajes (creado con el addon `r.watershed`), de coordenadas de desembocadura de la cuenca (obtenidas con la librería `Mapview`), y de salida el nombre de la cuenca. Asi mismo, se usó el addon `r.to.vect` (Team (2003–2021)), para convertir el raster resultante en vectorial, con los parametros a continuación: de entrada el mapa raster de la cuenca, de salida el nombre del vectorial y para la característica de salida se usó el área. Al final de la operación los resultados fueron llevados a R. Para extraer la red de drenaje se aplico el addon `r.stream.extract` (Metz (2003–2021)), usando los parametros: elevación, umbral de acumulación, mapa raster de flujos y mapa vectorial de flujos. Luego los resultados de este procedimiento fueron llevados a R.

3.2.2 Orden de red y análisis hortoniano.

En cuanto al orden de red y el análisis hortoniano, se usó el addon `r.stream.extract` (Metz (2003–2021)), para producir un mapa de dirección de flujo con los parametros: de entrada un modelo de elevación, un umbral de acumulación y de salida el nombre del mapa. Para la creación de mapas de ordenes de redes generados con `r.stream.order` (Jasiewicz (2003–2021)) se usaron los parametros: de entrada un mapa raster de red de arroyos, un modelo de elevación, un mapa de direccion de flujos, un mapa de acumulación, de salida un vector con todos los atributos de los flujos, y a salida de los vectores con los ordenes de redes según Strahler, Horton, Shreve, Hack y Topo. Para analizar el orden de red de la cuenca se utilizó la clasificación de Strahler. Mientras que se usaron los addons `r.info` (Michael O’Shea (2003–2021)), para obtener los valores minimos y maximos del orden de red segun Strahler a partir de un raster; para delimitar la cuenca a traves de la red de drenaje se utilizo `r.stream.basins` (Jarek Jasiewicz & Institute (2003–2021a)), los parametros usados son: de entrada un mapa de direccion de flujos, un mapa mascara de flujos, rango de valores de categorias, y de salida el nombre del mapa. En cuanto a las estadísticas según orden de red de Horton para las redes de Strahler y Horton se uso el addon `r.stream.stats` (Jarek Jasiewicz & Institute (2003–2021b)), para resumir las estadisticas; los parámetros a usados fueron: de entrada un raster de red de arroyos, un raster de dirección de flujos, un modelo de elevación y de salida el nombre del archivo.

3.2.3 Índices de concavidad y perfiles longitudinales.

Para calcular los índices de concavidad y los perfiles longitudinales, primero, se obtuvieron los cursos mas largos de la cuenca a traves de la función `LfpNetwork` (Batlle (2018b)), usando coordenadas de desembocadura de la cuenca obtenidas con la librería `Mapview`, vectores de ordenes de red, mapa de flujo de dirección y un sufijo de salida para los resultados que se generen. Segundo, para producir los perfiles longitudinales e índices de cocavidad se empleo la función `LfpProfilesConcavity` (Batlle (2018c)), utilizando como parámetro la red de cursos de agua más largos, coordenadas de desembocadura, un dem, un mapa de fluxos de drenaje, un prefijo, un sistema de referencia de coordenadas, un parametro de suavizado y un número de filas de los perfiles.

3.2.4 Morfometría de cuenca.

Tras crear una nueva región de GRASS en R, se continuó con convertir a números enteros la extensión y la resolución del DEM con las funciones `integerextent` (Batlle (2020a)), y `xyvector` (Batlle (2018d)). Tambien, se usó la herramienta `gdalwarp` (Frank Warmerdam & others (1998–2021)), para reproyectar y deformar raster. Se utilizaron los addons `g.proj` (Kelly (2003–2021)), y `r.in.gdal` (Warmerdam (2003–2021)), para importar a la sesion de GRASS. Se usó el addon `r.stream.extract` (Metz (2003–2021)), para generar una red de drenaje y obtener coordenadas a continuación, y que serían, luego, transformadas a EPSG (MappingGis (2016)), como número entero con la función `My_Trans` (Batlle (2020b)). En cuanto a la obtención de los parámetros morfométricos de la cuenca se usa el addon `r.basin` (Margherita Di Leo (2003–2021)), con los parámetros siguientes: un modelo de elevación, un prefijo de salida, coordenadas de la salida de la cuenca, umbral de acumulación, y un directorio donde se ubicará el archivo de salida. Los vectores obtenidos cson transformados a EPGS (MappingGis (2016)), y asi visualizar con la librería `Leaflet`. Y para poder explorar los parámetros de la cuenca se usó la librería `Readr`. Finalmente, para el cálculo de la curva y la integral hipsométrica, lo primero fue representar las cuencas con las librerías `Sp` y `Mapview`; y segundo, calcular la integral y curva hipsométrica utilizando la función `HypoIntCurve` (Batlle (2018a)), usando de parámetros los vectores de arroyos de cuenca de orden 2 y 3, un modelo de elevación, un asignador de campos, el número de filas y una etiqueta de tamaño.

4 Resultados

El fruto del estudio realizado a la cuenca del río Guayubín aplicando la metodología anterior, produce información que facilita el análisis y comprensión de la cuenca fluvial, tanto de manera agrupada, como de forma desagregada.

4.1 Aspecto general de la cuenca y de la red de drenaje.

Tras calcular los parámetros hidrograficos de la cuenca con `r.watershed` se obtuvo un raster de tres grupos de capas (DEM, basins y str), que con la ayuda de `leaflet` se visualiza un mapa mostrando las subcuenca, las redes fluviales y el DEM, de la cuenca sin delimitar (Ver figura²).

La cuenca extraida con `r.water.outlet` produjo un raster de cuenca delimitada denominado `guayubin-basin`, que luego paso a ser un vector llamado `guayubin_basin` usando el addon `r.to.vect`. (Ver figura³). Tras ser llevada la cuenca ser llevada a R como vector, obtuvo el nombre `guayu_bas`

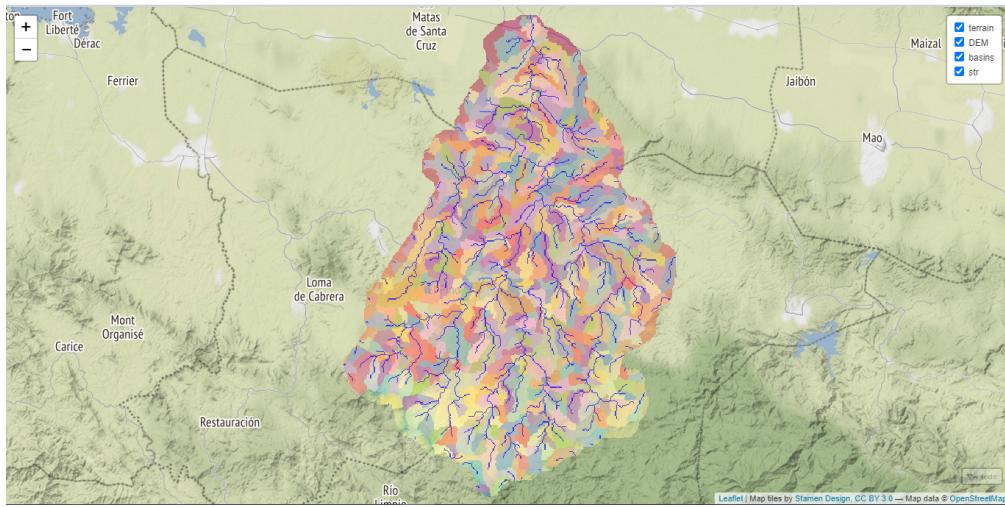


Figure 2: Capas generadas al calcular los parámetros hidrográficos de la cuenca

(ver figura4)

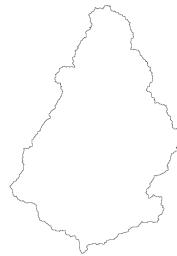


Figure 3: Cuenca del río Guayubín

En cuanto a la red de drenaje extraida con `r.stream.extract` se generó un raster y un vector con redes fluviales formadas a partir de un umbral de 80 celdas, denominados `guayubin-stream-de-rstr` y `guayubin_stream_de_rstr`, respectivamente. Estos productos tras ser llevados a R, como `guayu_net` para el vector y `guayu_net_r` para el raster (ver figura5).

4.2 Orden de red análisis hortoniano

Con el addon `r.stream.extract` se creó un mapa raster de dirección de flujos de nombre `drainage-dir-de-rstr`. Mientras que con el addons `r.stream.order` se generará un vector que contiene los atributos de la red (`order_all`), y mapas rasters de ordenes de red basados en las clasificaciones de Strahler, Horton, Shreve, Hack y Topo (Jasiewicz (2003–2021)). Aquí visualizada la capa vectorial de todos los ordenes con simbología única, (ver figura6). Y con simbología que aplica grosor según su orden de red (ver figura7).

Se ordenó y clasificó cada tramo fluvial de la cuenca según Strahler donde usando el addon `r.info`, se obtuvo el orden de red máximo es 5 y el mínimo es de 1 . Despues de delimitar las cuencas con `r.basin`, se generó un raster que se transformó a vectorial (ver figura8).

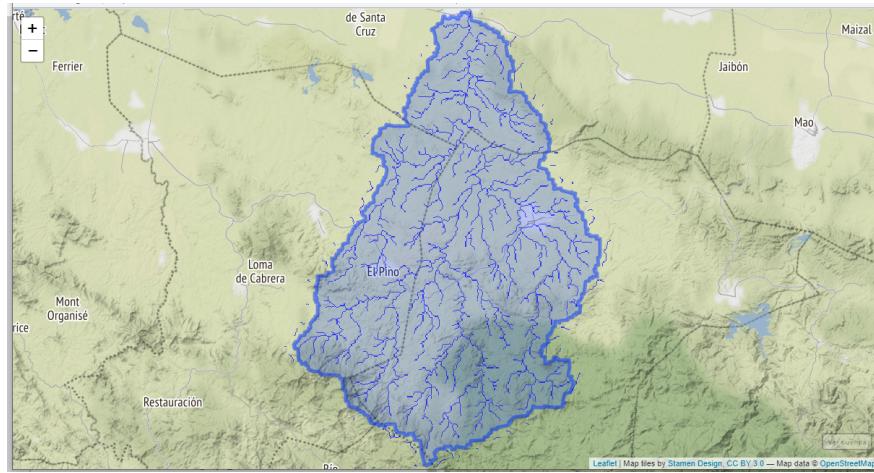


Figure 4: Cuenca del río Guayubín delimitada

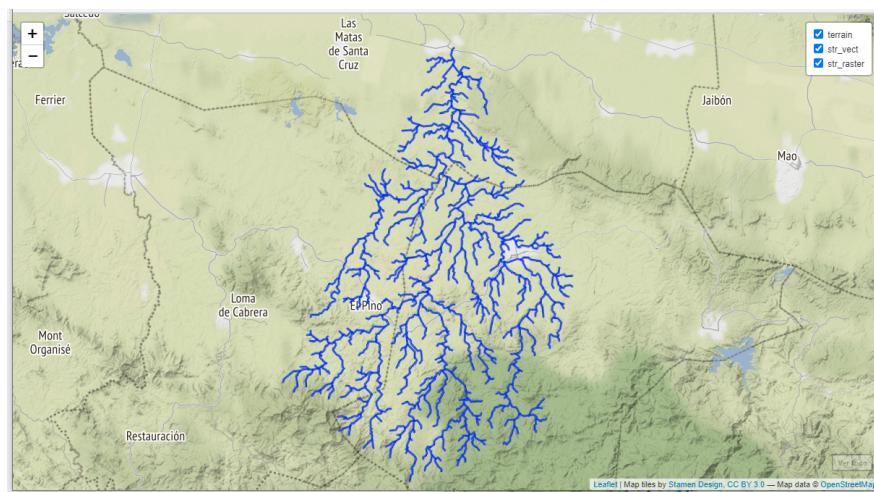


Figure 5: Red de drenaje del río Guayubín

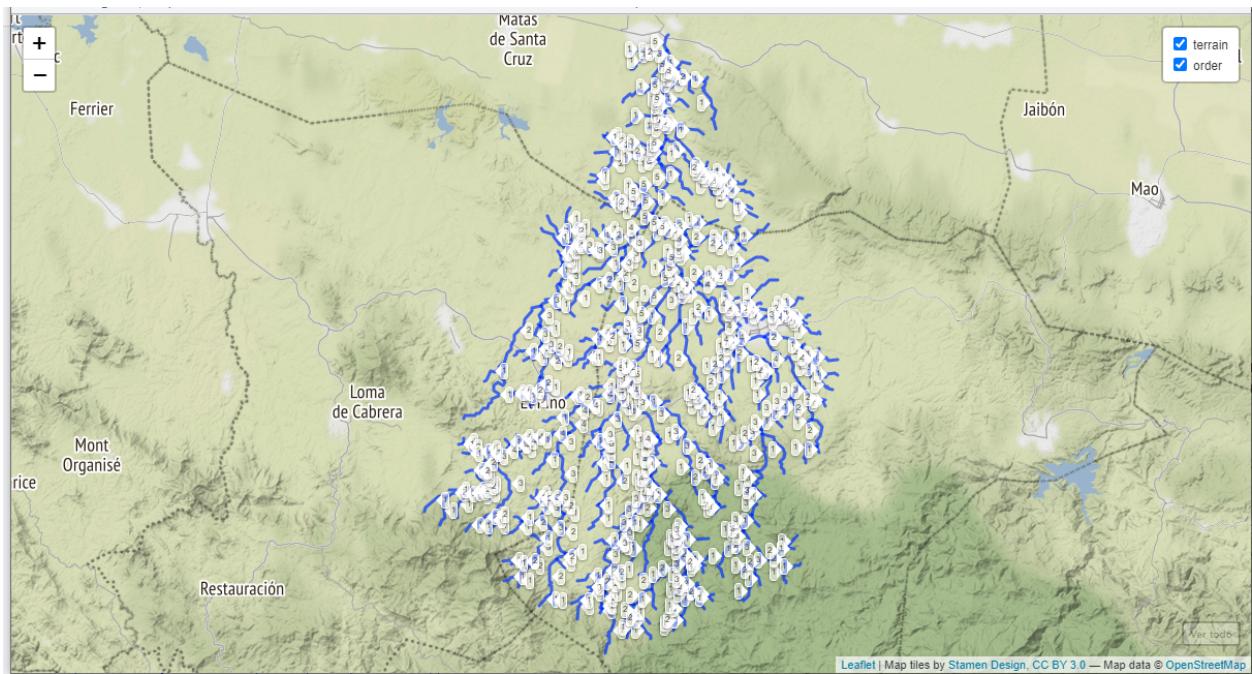


Figure 6: Ordenes de red del río Guayubin con simbología unica

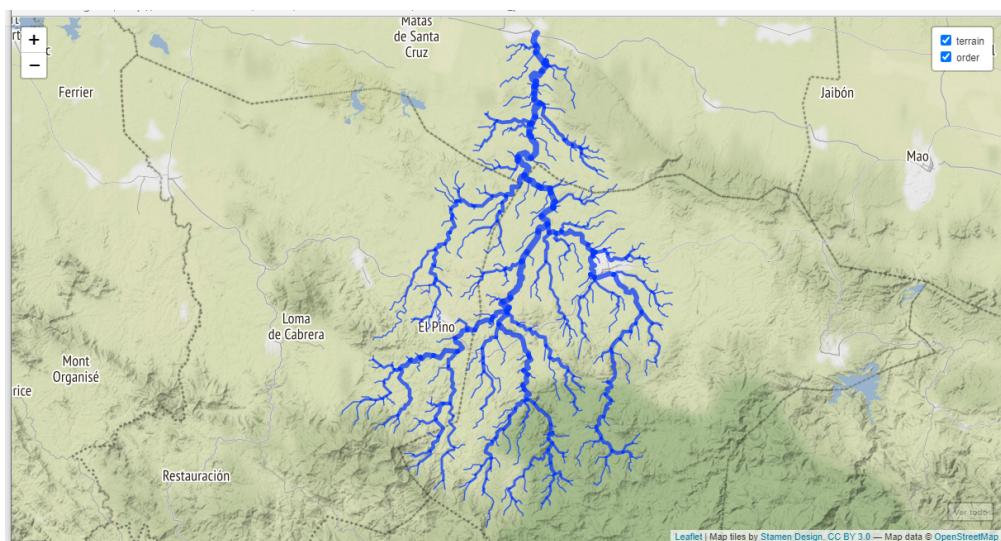


Figure 7: Ordenes de red del río Guayubin con simbología aplicando grosor segun su orden

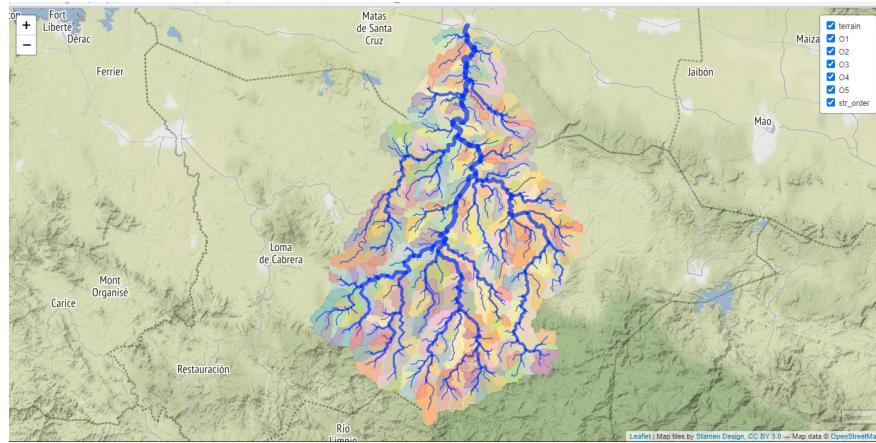


Figure 8: Subcuencas y ordenes de red del río Guayubin

Las estadísticas de red resumidas por orden de red según la clasificación de Strahler, obtenidas con `r.stream.stats`, se produjo un documento resumido de sobre los ordenes de red, con esto mismo se calculó la razón de bifurcación equivalente a 4.064346 (ver figura 9).

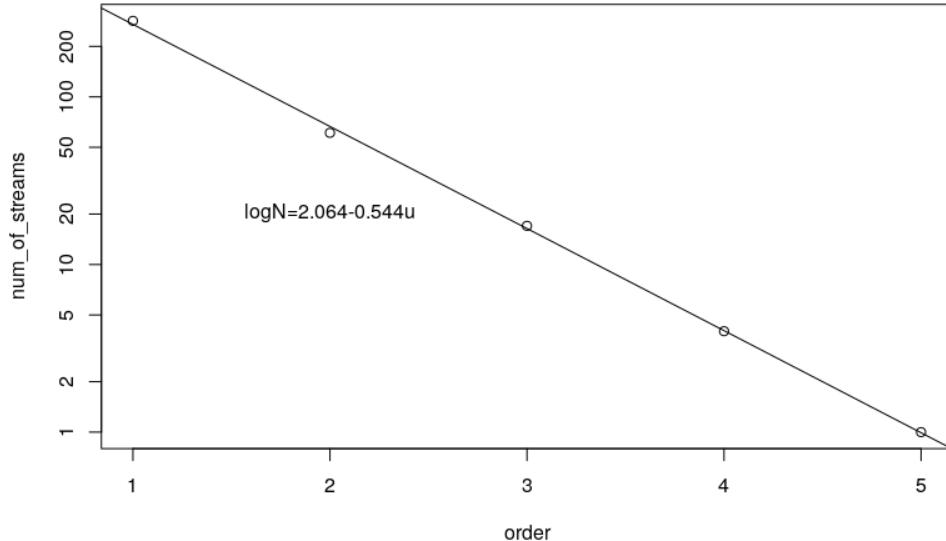


Figure 9: Número de redes según su orden y Razón de bifurcación por medio de coeficientes de regresión

Así también se obtuvieron con el mismo add-on `r.stream.stats`, estadísticas más amplias sobre la red.

Summary:

Max order	Tot.N.str.	Tot.str.len.	Tot.area.	Dr.dens.	Str.freq.
(num)	(num)	(km)	(km ²)	(km/km ²)	(num/km ²)

Max order	Tot.N.str.	Tot.str.len.	Tot.area.	Dr.dens.	Str.freq.
5	367	693.6069	773.2235	0.8970	0.4746

Stream ratios based on regression coefficient:

Bif.rt.	Len.rt.	Area.rt.	Slo.rt.	Grd.rt.
4.0643	2.2928	4.5845	1.4798	1.8338

Averaged stream ratios with standard deviations:

Bif.rt.	Len.rt.	Area.rt.	Slo.rt.	Grd.rt.
4.1235	2.3822	3.3126	1.4938	1.9010
0.4476	0.6025	2.2153	0.0960	0.5050

Order num	Avg.len (km)	Avg.ar (km^2)	Avg.sl (m/m)	Avg.grad. (m/m)	Avg.el.dif (m)
1	1.2435	1.7188	0.0367	0.0296	37.4437
2	2.4743	7.2904	0.0246	0.0201	49.0820
3	6.2881	31.7328	0.0165	0.0113	85.1765
4	11.5356	147.7492	0.0120	0.0066	80.0000
5	36.4888	773.2235	0.0074	0.0025	91.0000

Order num	Std.len (km)	Std.ar (km^2)	Std.sl (m/m)	Std.grad. (m/m)	Std.el.dif (m)
1	1.0274	1.0955	0.0379	0.0324	52.7742
2	1.9695	4.4097	0.0215	0.0194	52.5830
3	5.0992	19.0637	0.0092	0.0077	93.4085
4	5.8247	44.3177	0.0041	0.0032	57.0789
5	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Order	N.streams	Tot.len (km)	Tot.area (km^2)
1	284	353.1463	488.1383
2	61	150.9325	444.7173
3	17	106.8969	539.4576
4	4	46.1425	590.9969
5	1	36.4888	773.2235

Order	Bif.rt.	Len.rt.	Area.rt.	Slo.rt.	Grd.rt.	d.dens.	str.freq.
1	4.6557	1.9898	0.0000	1.4930	1.4748	0.7235	0.5818

Order	Bif.rt.	Len.rt.	Area.rt.	Slo.rt.	Grd.rt.	d.dens.	str.freq.
2	3.5882	2.5413	4.2416	1.4930	1.7757	0.3394	0.1372
3	4.2500	1.8345	4.3527	1.3771	1.7207	0.1982	0.0315
4	4.0000	3.1631	4.6560	1.6122	2.6327	0.0781	0.0068
5	0.0000	0.0000	5.2334	0.0000	0.0000	0.0472	0.0013

4.3 Índices de concavidad y perfiles longitudinales

Con la función LfpNetwork obtuvieron los cursos mas largos de la red de drenaje en formato vectorial y raster, con el sufijo de salida Gyb. Para representarlo con leaflet se uso el archivo vectorial resultante de la operación anterior (ver figura 10).

Mientras tanto, el producto de aplicar la función LfpProfilesConcavity fueron los perfiles longitudinales (ver figura 11), y sus indices de concavidad, bajo el prefijo Gyb (ver figura 12).

4.4 Morfometria de cuenca

El calculo morfometrico de la cuenca fue realizado con el addon r.basin, generando vectoriales y raster de la cuenca y de su red de drenaje. Luego, los vectoriales fueron transformados a EPSG: 4326 (ver figura 13).

Parametros morfometricos de la cuenca

Parametros	Valores
Easting Centroid of basin	246465.00
Northing Centroid of basin	2151675.00
Rectangle containing basin N-W	('230220', '2175930')
Rectangle containing basin S-E	('261000', '2131290')
Area of basin [km^2]	773.5631625
Perimeter of basin [km]	156.122652506552
Max Elevation [m s.l.m.]	1396.72540740785
Min Elevation [m s.l.m.]	30.9651954818271
Elevation Difference [m]	1365.760211926023
Mean Elevation	276.7019
Mean Slope	5.17
Length of Directing Vector [km]	24.460893544594807
Prevalent Orientation [degree from north, counterclockwise]	1.4935760627096282
Compactness Coefficient	4.974655054098116
Circularity Ratio	0.3988171279899944
Topological Diameter	84.0
Elongation Ratio	0.5064682945330589
Shape Factor	12.483750895456415
Concentration Time (Giandotti, 1934) [hr]	6.906840311938352
Length of Mainchannel [km]	61.965603846
Mean slope of mainchannel [percent]	1.9669190473941982
Mean hillslope length [m]	250.4986
Magnitudo	223.0

Parametros	Valores
Max order (Strahler)	5
Number of streams	343
Total Stream Length [km]	662.2185
First order stream frequency	0.2882763952710843
Drainage Density [km/km ²]	0.8560626101427108
Bifurcation Ratio (Horton)	3.8876
Length Ratio (Horton)	2.2966
Area ratio (Horton)	4.3704
Slope ratio (Horton)	1.4689

Para la curva e integral hysometrica, calculada con la funcion HypsoIntCurve, se obtuvieron los datos para las cuencas de red de drenaje de orden 2 (ver figura 14 y figura 17), y cuencas de red de drenaje de orden 3 (ver figura ?? y figura ??).

Integral hipsometrica en las cuencas de red de orden 2.

Categoría	Integral hipsométrica
1	1 0.23784092
2	2 0.29691935
3	3 0.31478851
4	4 0.25845620
5	5 0.18914104
6	6 0.38449116
7	7 0.25087104
8	9 0.26943542
9	10 0.19779399
10	11 0.19287436
11	12 0.17808813
12	13 0.22437828
13	14 0.40595651
14	15 0.25477715
15	16 0.19777159
16	17 0.25313336
17	18 0.22679929
18	19 0.30597060
19	20 0.30564285
20	21 0.24773997
21	22 0.21800099
22	23 0.33229314
23	24 0.40758028
24	25 0.27096759
25	26 0.17485732
26	28 0.25721054
27	29 0.27907973
28	30 0.23545394
29	32 0.24544610

Categoría	Integral hipsométrica
30	33 0.18990261
31	34 0.22303577
32	35 0.14436574
33	36 0.30229714
34	37 0.30742281
35	38 0.34876647
36	39 0.39371293
37	40 0.14419677
38	41 0.36397062
39	42 0.45795809
40	43 0.07642614
41	45 0.48672629
42	46 0.29182502
43	47 0.47300056
44	48 0.22892086
45	49 0.50910119
46	50 0.16011357
47	51 0.14325914
48	52 0.30243670
49	53 0.22622911
50	54 0.27985062
51	55 0.16980308
52	57 0.38363564
53	58 0.29000326
54	59 0.23691203
55	60 0.30564446
56	61 0.30401039
57	62 0.25939942
58	63 0.16711030
59	64 0.14693431
60	65 0.19359746
61	66 0.17854689

Integral hipsometrica en las cuencas de red de orden 3.

Categoría	Integral hipsométrica
1	1 0.28106607
2	2 0.24855493
3	4 0.12697883
4	5 0.21021494
5	6 0.18586633
6	8 0.40849637
7	9 0.33264116
8	10 0.15880640
9	11 0.34507681
10	12 0.32371339

Categoría	Integral hipsométrica
11	13 0.33707592
12	15 0.32319904
13	16 0.06673204
14	17 0.15091492
15	18 0.14111015
16	19 0.29051932
17	20 0.15859746
19	20 0.30564285
20	21 0.24773997
21	22 0.21800099
22	23 0.33229314
23	24 0.40758028
24	25 0.27096759
25	26 0.17485732
26	28 0.25721054
27	29 0.27907973
28	30 0.23545394
29	32 0.24544610
30	33 0.18990261
31	34 0.22303577
32	35 0.14436574
33	36 0.30229714
34	37 0.30742281
35	38 0.34876647
36	39 0.39371293
37	40 0.14419677
38	41 0.36397062
39	42 0.45795809
40	43 0.07642614
41	45 0.48672629
42	46 0.29182502
43	47 0.47300056
44	48 0.22892086
45	49 0.50910119
46	50 0.16011357
47	51 0.14325914
48	52 0.30243670
49	53 0.22622911
50	54 0.27985062
51	55 0.16980308
52	57 0.38363564
53	58 0.29000326
54	59 0.23691203
55	60 0.30564446
56	61 0.30401039
57	62 0.25939942

Categoría	Integral hipsométrica
58	63 0.16711030
59	64 0.14693431
60	65 0.19359746
61	66 0.17854689

5 Discusión

6 Agradecimientos

A Dios por la fuerza y la salud que me ha dado durante todo este tiempo, sin dejarme caer.

A mi maestro Jose Martinez Battle por el apoyo incondicional, tanto emocional como tecnico, por ser guia durante todo el trayecto, por ser paciente, y sobre todo por su disponibilidad para colaborar.

A mi companero de carrera y amigo Welifer Lebron por su asesoramiento.

A mis companeros Saderis Carmona, Franklin Gomez, Randy Mueses, Frank de la Cruz y Cinthia Vanderpool quienes estuvieron presente en este nuevo reto en el que nos embarcamos tres meses atras, y de los cuales he recibido apoyo emocional y tecnico, tambien por sus maneras de ayudarnos entre si a liberar estres.

A mi madre Denny Laureano, mis hermanos Darleny Linares, Dihana Carolina Linares y Jose Daniel Linares por la comprension y el apoyo tanto moral como emocional durante este tiempo.

A mis amistades por el apoyo, comprension y motivacion para que continue mis proyectos.

7 Información de soporte

8 Script reproducible

Referencia

Batlle, J. R. M. (2018a). *Función hypsointcurve*. Retrieved from https://github.com/geofis/rgrass/blob/master/integral_hypsometric_curve.R

Batlle, J. R. M. (2018b). *Función lfpnetwork*. Retrieved from https://github.com/geofis/rgrass/blob/master/lfp_network.R

Batlle, J. R. M. (2018c). *Función lfpprofilesconcavity*. Retrieved from https://github.com/geofis/rgrass/blob/master/lfp_profiles_concavity.R

Batlle, J. R. M. (2018d). *Función xyvector*. Retrieved from <https://raw.githubusercontent.com/geofis/rgrass/master/xyvector.R>

Batlle, J. R. M. (2020a). *Función integerextent*. Retrieved from <https://raw.githubusercontent.com/geofis/rgrass/master/integerextent.R>

Batlle, J. R. M. (2020b). *Función my-trans*. Retrieved from <https://github.com/geomorfologia-master/unidad-4-asignacion-1-procesos-fluviales/blob/master/my-trans.R>

Bowden, K. L., & Wallis, J. R. (1964). Effect of stream-ordering technique on horton's laws of drainage composition. *Geological Society of America Bulletin*, 75(8), 767–774.

Castillo, F. A. J. (2015). Delimitación automática de microcuencas utilizando datos srtm de la nasa. *Enfoque UTE*, 6(4), 81–97.

Charles Ehlschlaeger, U. A. C. E. R. L. (2003–2021a). *Addon r.water.outlet*. Retrieved from <https://>

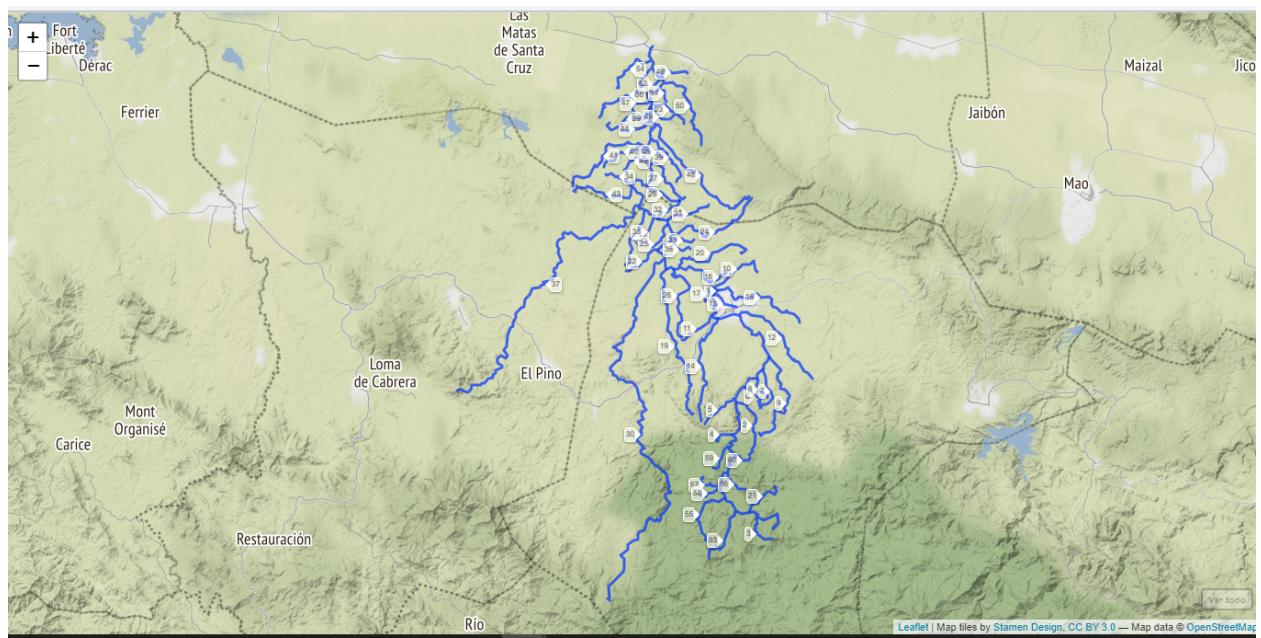


Figure 10: Cursos fluviales mas largos de la cuenca del río Guayubin

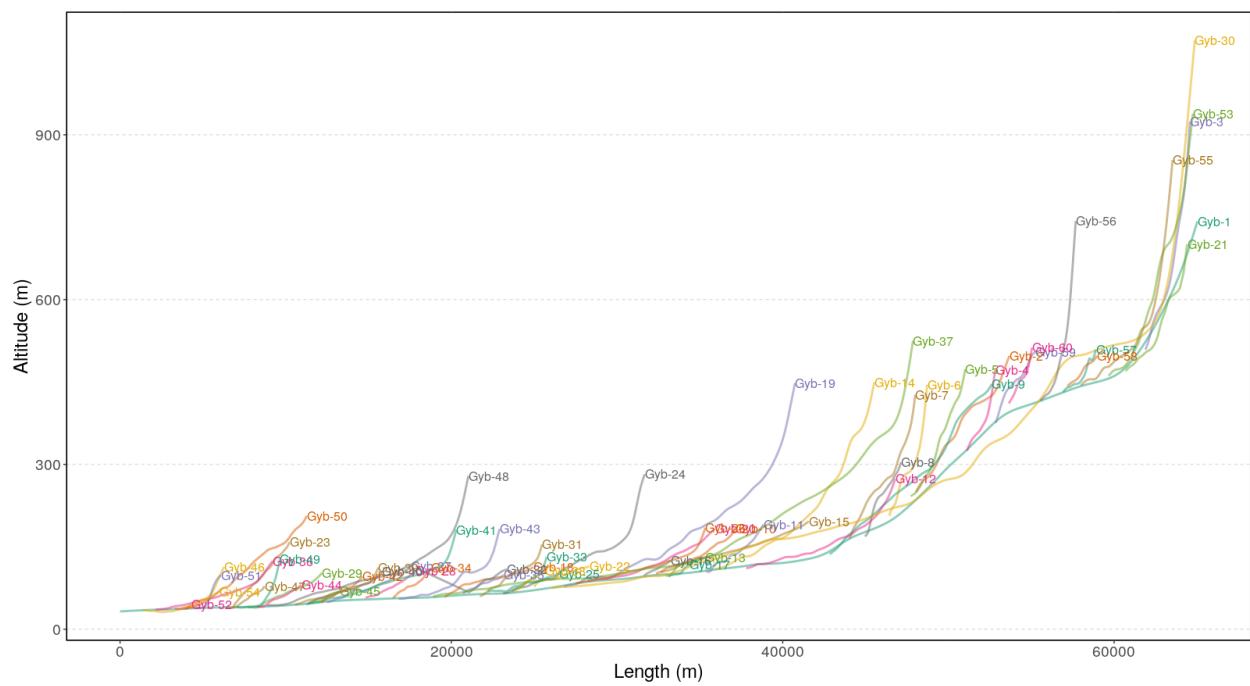


Figure 11: Perfiles longitudinales de los cursos mas largos en la cuenca Guayubin

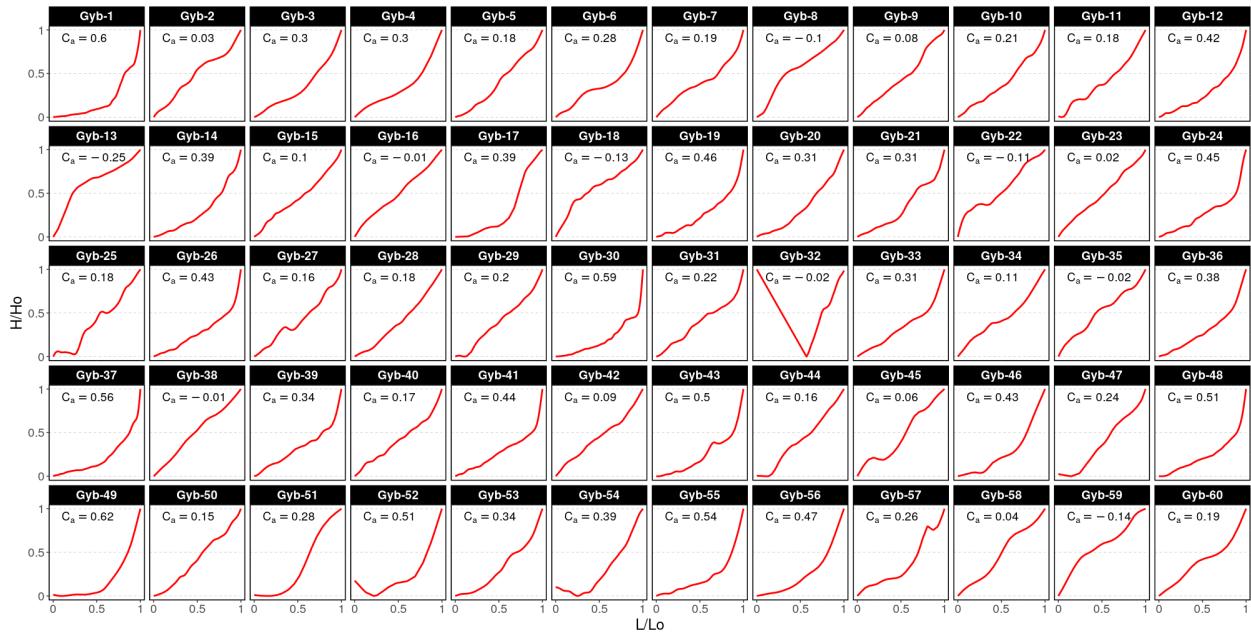


Figure 12: Perfiles longitudinales e indices de concavidad de los cursos mas largos en la cuenca del río Guayubin

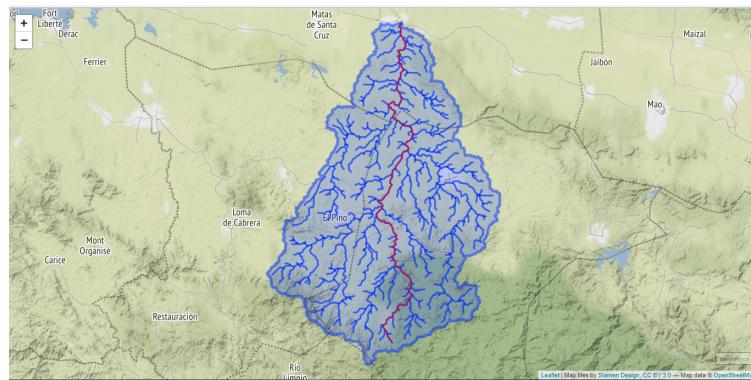


Figure 13: Cuenca del río Guayubin con su red de drenaje y su curso mas largo

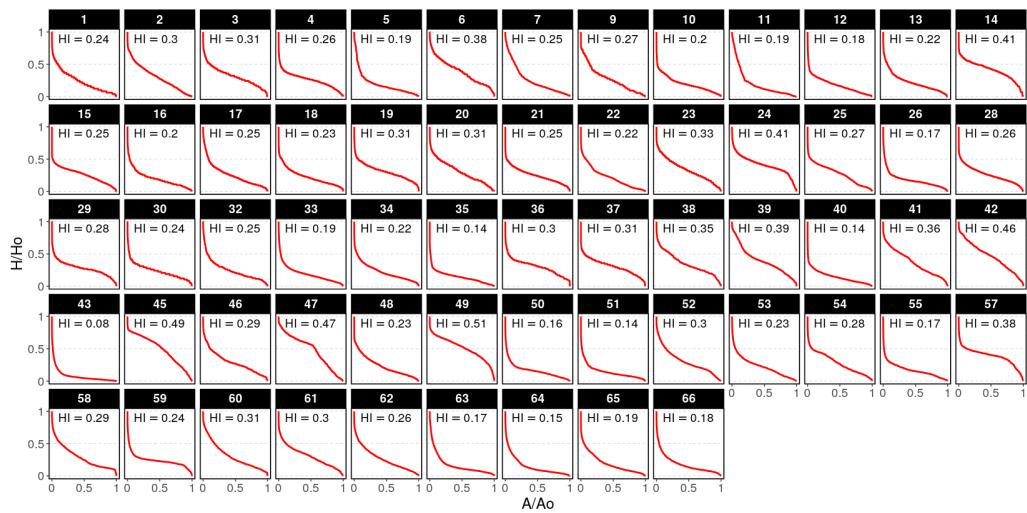


Figure 14: Curva e integral hipsométrica para las cuencas de orden 2

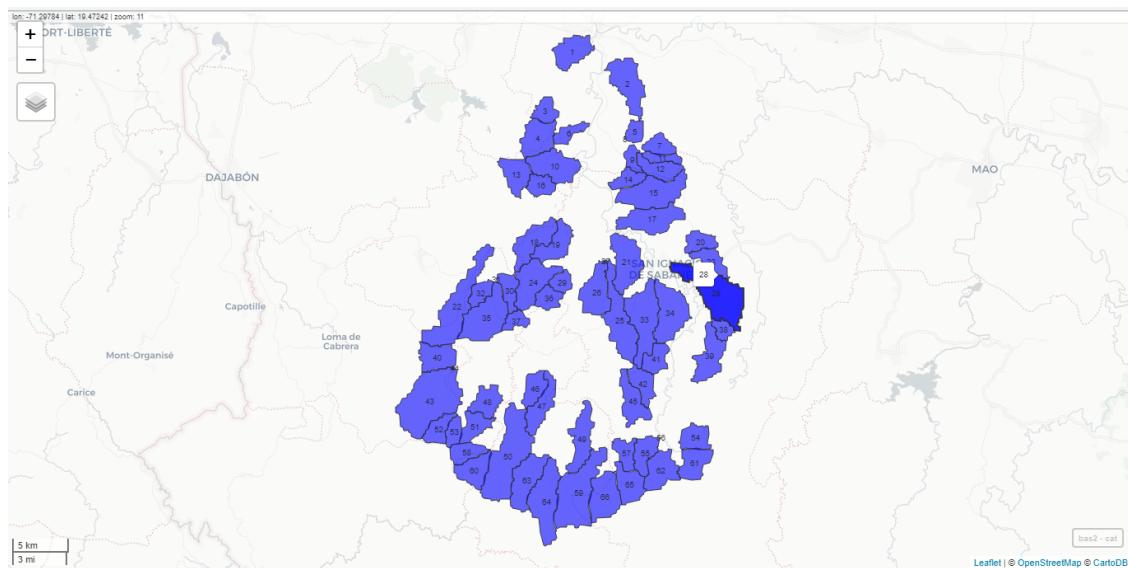


Figure 15: Cuencas de red de drenaje orden 2

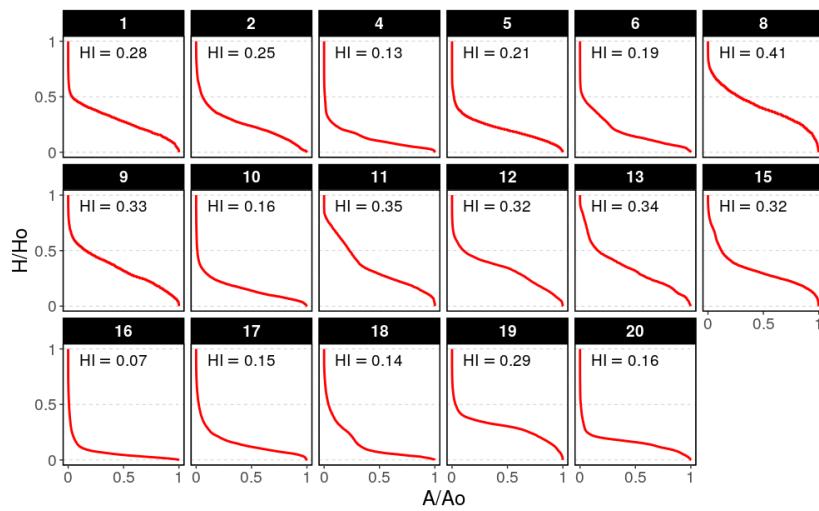


Figure 16: Curva e integral hipsométrica para las cuencas de orden 3

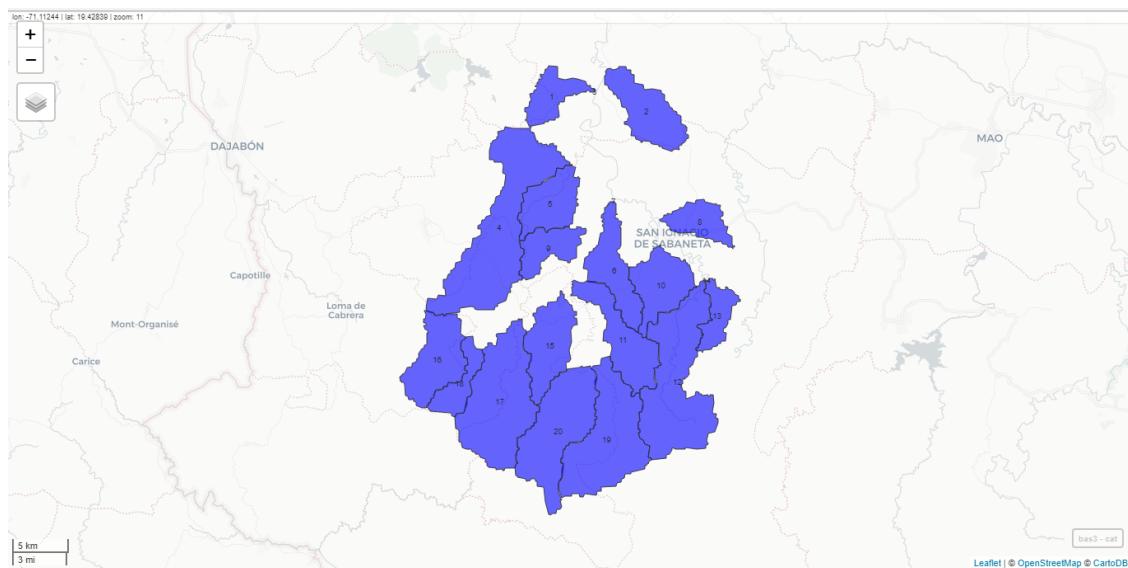


Figure 17: Cuencas de red de drenaje orden 3

- //grass.osgeo.org/grass78/manuals/r.water.outlet.html
 Charles Ehlschlaeger, U. A. C. E. R. L. (2003–2021b). *Addon r.watershed*. Retrieved from <https://grass.osgeo.org/grass79/manuals/r.watershed.html>
- Christofoletti, A. (1988). *Geomorfologia*. Editora Blucher.
- ESRI, E. S. R. I. (2012). ArcGIS resources: Definir cuencas hidrográficas. Retrieved from <https://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z0000006800000>
- Fernandez, O. V. Q., & Rocha, A. S. da. (2016). Análise preliminar da aplicação da integral hipsométrica à caracterização das unidades de paisagem na bacia do paraná iii, oeste do paraná. *Anais VIII SIMPGEO-as Fronteiras Da Ciência Geográfica: Avanços E Possibilidades*. Marechal Cândido Rondon, N. November, 497–506.
- Frank Warmerdam, Even Rouault, & others. (1998–2021). *Utility gdalwarp*. Retrieved from <https://gdal.org/programs/gdalwarp.html>
- Garzón Heydt, G., Ortega, J., Garrote, J., & others. (n.d.). *Morfología de perfiles de ríos en roca. control tectónico y significado evolutivo en el bajo guadiana*.
- Goldrick, G., & Bishop, P. (2007). Regional analysis of bedrock stream long profiles: Evaluation of hack's sl form, and formulation and assessment of an alternative (the ds form). *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(5), 649–671.
- Gregory, K. J., & Walling, D. E. (1973). *Drainage basin form and process*.
- Gutiérrez Elorza, M. (2008). *Geomorfología*.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56(3), 275–370.
- Howard, A. D. (1967). Drainage analysis in geologic interpretation: A summation. *AAPG Bulletin*, 51(11), 2246–2259.
- Jarek Jasiewicz, G., Adam Mickiewicz University, & Institute, G. (2003–2021a). *Addon r.stream.basins*. Retrieved from <https://grass.osgeo.org/grass78/manuals/addons/r.stream.basins.html>
- Jarek Jasiewicz, G., Adam Mickiewicz University, & Institute, G. (2003–2021b). *Addon r.stream.stats*. Retrieved from <https://grass.osgeo.org/grass78/manuals/addons/r.stream.stats.html>
- Jasiewicz, J. (2003–2021). *Addon r.stream.order*. Retrieved from <https://grass.osgeo.org/grass78/manuals/addons/r.stream.order.html>
- Kelly, P. (2003–2021). *Addon g.proj*. Retrieved from <https://grass.osgeo.org/grass79/manuals/g.proj.html>
- MappingGis, D. A. (2016). Qué son los códigos epsg / srid y su vinculación con postgis. Retrieved from <https://mappinggis.com/2016/04/los-codigos-epsg-srid-vinculacion-postgis/>
- Margherita Di Leo, M. D. S. (2003–2021). *Addon r.basin*. Retrieved from <https://grass.osgeo.org/grass78/manuals/addons/r.basin.html#morphometric-parameters-of-basin>
- Medio Ambiente y Recurso Naturales, M. de. (2015). *Cuenca río yaque del norte y su zona costera*. url.
- Metz, M. (2003–2021). *Addon r.stream.extract*. Retrieved from <https://grass.osgeo.org/grass78/manuals/r.stream.extract.html>
- Michael O'Shea, U. A. C. E. R. L. (2003–2021). *Addon r.info*. Retrieved from <https://grass.osgeo.org/grass78/manuals/r.info.html>
- Morais, F., & Almeida, L. M. (2010). Geomorfologia fluvial da bacia hidrográfica do ribeirão jaú-palmas-to. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium*, 1(2).
- Pedraza Gilsanz, J. de. (1996). *Geomorfología: Principios, métodos y aplicaciones*.
- Pinilla, A. (1993). *Symposium sobre la raña en españa y portugal* (Vol. 2). Editorial CSIC-CSIC Press.
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological*

Society of America Bulletin, 63(11), 1117–1142.

Team, G. D. (2003–2021). *Addon r.to.vect*. Retrieved from <https://grass.osgeo.org/grass76/manuals/r.to.vect.html>

Venkatachalam, P., Mohan, B., Kotwal, A., Mishra, V., Muthuramakrishnan, V., & Pandya, M. (2001). Automatic delineation of watersheds for hydrological applications proc. ACRS 2001-22nd asian conference on remote sensing, 5-9 november 2001, singapore. vol, 2, 1096–1101.

Warmerdam, F. (2003–2021). *Addon r.in.gdal*. Retrieved from <https://grass.osgeo.org/grass79/manuals/r.in.gdal.html>

Wikipedia, C. (2020). Stream order. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Stream_order