

GENERACIÓN DE LOS MAPAS OFICIALES DE CUENCAS, SUBCUENCAS Y MICROCUENCAS PARA EL TERRITORIO HONDUREÑO



GOBIERNO DE LA
REPÚBLICA DE HONDURAS



SECRETARÍA DE ENERGÍA,
RECURSOS NATURALES,
AMBIENTE Y MINAS

Mi Ambiente+



Este trabajo fue realizado en el marco del Convenio Especial de Cooperación Interinstitucional entre el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y la Secretaría de Energía, Recursos Naturales, Ambiente y Minas (MIAMBIENTE), CON 016-16. Convenio que es financiado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) en Honduras.

Secretaría de Energía, Recursos Naturales,
Ambiente y Minas (MIAMBIENTE)
Dirección General de Recursos Hídricos (DGRH)

Directora

Ing. Carmen Cartagena

Jefe del Departamento de Cuencas Hidrográficas

Ing. Juan Manuel Pineda

Autores

Fredy Monserrate, Jefferson Valencia, Sindy Leverón
Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)

SEPTIEMBRE
2017



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



Centro Internacional de Agricultura Tropical
Desde 1967 *Ciencia para cultivar el cambio*

Este documento es una publicación del

Sistema de Apoyo a la Planificación Hídrica Local en Honduras

Líder del proyecto

Marcela Quintero (m.quintero@cgiar.org)

Coordinación en Honduras

Fredy Monserrate (f.monserrate@cgiar.org)

La elaboración de este documento, productos e investigaciones que lo acompañan han sido posibles gracias al generoso apoyo del Pueblo de los Estados Unidos de América. El contenido de los mismos es responsabilidad de los autores y no necesariamente refleja el punto de vista de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) o del gobierno de los Estados Unidos.

Cita correcta:

Monserrate F.; Valencia J.; Leverón S.; Pineda J.; Cartagena C. 2017. Generación de los mapas oficiales de cuencas, subcuencas y microcuencas para el territorio Hondureño (Memoria Técnica). United States Agency for International Development (USAID); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Dirección General de Recursos Hídricos (DGRH). 26p.

Portada: Carlos Navarro/CIAT

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. ANTECEDENTES	3
3. CONCEPTOS DE CUENCA, SUBCUENCA y MICROCUENCA	5
4. DELIMITACIÓN DE CUENCAS, SUBCUENCAS Y MICROCUENCAS DE HONDURAS	6
4.1 Descarga y corrección del Modelo Digital de Elevación (MDE)	6
4.2 Generación de modelos de datos en ArcGIS para generación de microcuencas.....	8
4.3 Delimitación de microcuencas y definición del umbral de acumulación de flujo	14
4.4 Corrección de drenajes y delimitación definitiva de microcuencas	15
4.5 Agrupación de microcuencas en cuencas y subcuencas	16
4.6 Codificación y asignación de nombres	20
4.7 Modificaciones con relación a las delimitaciones de cuencas y subcuencas anteriores	21
Cambios realizados a nivel de cuencas	21
Cambios realizados a las subcuencas.....	21
4.8 Generación de aplicación web y mapas oficiales.....	23
REFERENCIAS.....	30
ANEXOS	31

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Listado de las 25 cuencas mayores para Honduras definidas en este estudio.....	17
Tabla 2. Listado de 133 subcuencas definidas para Honduras en este estudio	19
Tabla 3. Modificaciones a las delimitaciones de cuencas.....	21
Tabla 4. Modificaciones a las delimitaciones de Subcuencas.....	22

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema metodológico seguido para la delimitación de Cuencas, Subcuencas y Microcuencas .	6
Figura 2. Vista de una zona donde se realizó el llenado de huecos del MDE SRTM de 30m.....	7
Figura 3. Caja de herramientas de ArcToolBox diseñada para el procesamiento del MDE.....	8
Figura 4. Modelo “0_1 Extraer Cuerpos de Agua Costeros”.....	8
Figura 5. Modelo de datos “0_2 Pre-procesamiento MDE”	9
Figura 6. Modelo de datos “1 Generar Fdr – Fac” (A) de acuerdo a la metodología D8 (B)	10
Figura 7. Modelo de datos “2 Generar StrLnk”	10
Figura 8. Modelos de datos “2_1 Ajustar Dirección de Flujo en Lagos (Opcional)” y “2_2 Generar Flujo Acumulado (Opcional)”	11
Figura 9. Modelo de datos “3 Generar Drenajes”	11
Figura 10. Modelo de datos “4 Generar Cuencas o Áreas de Drenaje”	12
Figura 11. Modelo de datos “5 Generar Cuencas de Aporte y Conectividad”	12
Figura 12. Modelo de datos “6- Generar y Unir Cuencas Costeras” y cuencas costeras por adicionar.....	13
Figura 13. Modelo de datos 7 Asignar Tipo de Cuenca.....	13
Figura 14. Modelo de datos “8 Generar Outlets”	14
Figura 15. Comparación de resultados de la delimitación de microcuencas en zonas planas y bajas: A) Sin corrección de drenajes; B- Con corrección de drenajes (Rojo: delimitación de microcuencas; Azul: delineación de drenaje; Puntos Verdes: outlets)	15
Figura 16. Digitalización de drenajes en zonas planas para corregir la delimitación inicial	16
Figura 17. Mapa oficial de cuencas de Honduras	18
Figura 18. Mapa oficial de subcuencas de Honduras.....	20
Figura 19. Vista previa de la aplicación web para la visualización de las delimitaciones hidrográficas de Honduras	23

ACRÓNIMOS

ABS- Plan Maestro Agua, Bosque y Suelo

AECID- Agencia Española Para La Cooperación Internacional

CEDEX- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

CIAT – Centro Internacional de Agricultura Tropical

DGRH – Dirección General de Recursos Hídricos

ENEE- Empresa Nacional de Energía Eléctrica de Honduras

ICF- Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre

IHCIT- Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra,

MDE- Modelo Digital de Elevación

MIAMBIENTE- Secretaría de Recursos Naturales, Ambiente y Minas

PAGAH- III Plan de Acción Gobierno Abierto Honduras 2016-2018

PRONADERS- Programa Nacional de Desarrollo Rural Sostenible

SERNA- Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente ahora MiAmbiente

SRTM- Shuttle Radar Topography Mission

UNAH- Universidad Nacional Autónoma de Honduras

USAID- Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional

USGS- United States Geological Survey

WPS - Water Planning System

RESUMEN

El presente trabajo presenta la delimitación del territorio Hondureño en Cuencas, Subcuencas y Microcuencas. Esta es una delimitación basada en la topografía del terreno; la cual fue obtenida del Modelo Digital de Elevación (MDE) de la misión *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), de 30 metros de resolución (<https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>), misma que posteriormente fue hidro-condicionada y corregida. Las microcuencas fueron delimitadas a partir de las intersecciones de los drenajes definidos con un umbral de 10,000 píxeles de acumulación sobre el MDE hidro-condicionado. Luego de la primera delimitación, fue necesario realizar el “quemado” de algunos drenajes principales en las zonas planas (pendiente <5% en zonas amplias) sobre el MDE. A partir de las microcuencas generadas en la última corrección (hidro-condicionamiento y quemado de drenajes en zonas planas) se generaron **6,845 microcuencas**, las cuales se agregaron en **133 subcuencas** y **25 cuencas** buscando conservar las delimitaciones utilizadas en la actualización del Balance Hídrico del país en 2012 y en algunos casos incluyendo algunas modificaciones que se detallan en este informe. Posteriormente, se realizó la codificación y homogenización de los nombres de las cuencas y subcuencas, para finalmente generar los mapas definitivos y la aplicación web, que servirán como soporte oficial del trabajo de delimitación del territorio Hondureño en Cuencas, Subcuencas y Microcuencas; mapas que buscan convertirse en el marco de referencia espacial para la planificación hídrica y para las diferentes iniciativas a nivel local y nacional.

1. INTRODUCCIÓN

La delimitación hidrográfica del país en cuencas, subcuencas y microcuencas busca constituirse en el marco espacial de referencia para el proceso de planificación del recurso hídrico, de acuerdo con la implementación de la **Ley General de Aguas** (Decreto No.181-2009).

La generación de una delimitación oficial basada en criterios técnicos, facilita la implementación de varias políticas públicas como son el **Plan Maestro Agua, Bosque y Suelo (ABS)**, mediante la generación y gestión de información para el proceso de toma de decisiones en el componente agua. Adicionalmente, este instrumento de gestión de los recursos hídricos contribuye al cumplimiento de metas del **III Plan de Acción Gobierno Abierto Honduras (PAGAH) 2016-2018**, entre otras iniciativas.

En el presente documento se muestra el detalle técnico de la delimitación y los antecedentes de la misma, buscando además ser un documento que clarifique varios de los constantes requerimientos sobre el número oficial de cuencas y subcuencas del país. Adicionalmente y de forma novedosa, propone la delimitación del territorio en microcuencas, las cuales buscan constituirse en porciones del territorio que sean la base de la gobernanza hídrica del país.

Además, se debe destacar que esta delimitación fue realizada desde las piezas más pequeñas de los territorios o las microcuencas, usando un criterio hidrográfico y su agregación busca reconocer la tradición de las delimitaciones anteriores realizadas en el país y ajustando dichas delimitaciones para asegurarse que tengan sentido hidrográfico y puedan ser usadas en procesos de modelamiento hidrológico.

Finalmente, los mapas fueron desarrollados en el marco del proyecto: “**Sistema de Apoyo a la Planificación Hídrica Local en Honduras (Water Planning System-WPS)**”, financiado por la USAID y desarrollado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), en coordinación con la Dirección General de Recursos Hídricos (DGRH) de MIAMBIENTE, y serán puestos a disposición al público en la página web de la iniciativa (<https://aguadehonduras.gob.hn>) y compartidos en los geo-portales gubernamentales vinculados.

2. ANTECEDENTES

En Honduras, la Secretaría de Energía, Recursos Naturales, Ambiente y Minas (MIAMBIENTE), anteriormente SERNA, junto a otras instituciones han realizado tres delimitaciones hidrográficas. La primera delimitación presentó 19 cuencas mayores sin tener en cuenta las Islas de la Bahía y del Pacífico (*Anexo 1*); utilizando hojas cartográficas a escala 1:50,000 y en algunos sitios el MDE de la *United States Geological Survey* (USGS), de 50 metros de resolución proporcionado por PRONADERS/DINADERS. También, basado en ese mismo MDE, se generó una delimitación topográfica de las subcuencas con base en la que se reportaron las estadísticas hidrológicas del primer Balance Hídrico de Honduras. Este estudio fue financiado por la Agencia Española de Cooperación AECID (CEDEX & SERNA, 2004).

Las siguientes dos delimitaciones fueron generadas por el Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT), entre el 2012 y 2014 (SERNA & UNAH, 2014), en el marco de la actualización del Balance Hídrico Nacional; el cual fue financiado por el Fondo de Adaptación de Honduras. Estas delimitaciones generaron cuencas y subcuencas definidas con base en factores administrativos y políticos del territorio. Las fuentes de información usadas en ambas delimitaciones coincidieron con las usadas en el primer Balance Hídrico.

Los principales cambios entre la primera y segunda delimitación se presentaron en el norte del país al dividir la cuenca del Río Lean en dos: en la Cuenca de la Laguna de los Micos y la de Lean. Por otra parte, en el sur de país, la cuenca denominada Negro y Sampile fue dividida en tres: Cuenca del Río Negro, Cuenca del Río Sampile y las aguas que van hacia Nicaragua y drenan al Coco o Segovia fueron definidas como Coco o Segovia Sur (

Anexo 2). Así, la segunda delimitación presentó 22 cuencas mayores.

La tercera delimitación continuó el proceso de división de algunas cuencas especialmente en el norte del país, definiendo 25 cuencas mayores. A las 22 ya descritas, se adicionaron 3 como consecuencia de la división de la cuenca de Lean en cuatro: Lean, San Juan, Cuero y Perla (*Anexo 3*). En el mapa de esta división, aún no se reflejan las Islas de la Bahía y los Cayos del Pacífico como cuencas. A nivel de subcuencas, la tercera delimitación generó una nueva definición de 115 subcuencas basada en cuatro criterios administrativos e hidrográficos: a) Cada subcuenca se debía formar a través de un río que

desembocara en el principal de la cuenca o en el mar; b) para las cuencas fronterizas se definió una subcuenca en la zona que pertenece a Honduras; c) se definieron subcuencas en las partes altas, medias y bajas de las cuencas mayores; y d) fueron agrupados conjunto de ríos cortos por cada cuenca, evitando la generación de múltiples subcuencas.

En la actualización del balance hídrico, fueron generados mapas a nivel nacional en formato *Raster* para todo el país, y se representaron las variables asociadas a éste; sin embargo no fueron realizadas estadísticas a nivel de cuenca o subcuenca como en el primer Balance realizado en 2002.

3. CONCEPTOS DE CUENCA, SUBCUENCA y MICROCUENCA

De acuerdo al Manual y guía de procedimientos para la organización y constitución de organismos de cuencas desarrollado por la Dirección General de Recursos Hídricos de MiAmbiente (Guillen et al., 2016), a continuación se muestran los conceptos oficiales de cuencas, SubCuencas y Microcuencas en el territorio Hondureño y el cual es consistente con el trabajo desarrollado y descrito en este manual técnico.

Cuenca Hidrográfica: Es la unidad territorial delimitada por las líneas divisorias de aguas superficiales que convergen hacia un mismo cauce y 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.

Subcuenca Hidrográfica: Es una porción propia del territorio de una cuenca principal, que comprende un territorio delimitado, con varios cuerpos de agua y que contiene un tributario o afluente que directamente vierte al cauce principal.

Microcuenca Hidrográfica: Es una porción propia del territorio de una subcuenca específica, que comprende un territorio delimitado con sus cuerpos de agua que corresponden y que vierten invariablemente a un tributario, subtributario o subsubtributario del cauce principal.

4. DELIMITACIÓN DE CUENCAS, SUBCUENCAS Y MICROCUENCAS DE HONDURAS

En la **Figura 1** se muestra el esquema metodológico seguido en este trabajo; el cual fue desarrollado en 7 Etapas, que comienzan con la descarga y corrección del Modelo Digital de Elevación (MDE) y terminan con la generación de los mapas y aplicación web para visualizar los mapas oficiales. En las siguientes secciones se describe el desarrollo de cada etapa y se presentan los resultados obtenidos.



Figura 1. Esquema metodológico seguido para la delimitación de Cuencas, Subcuencas y Microcuencas

4.1 Descarga y corrección del Modelo Digital de Elevación (MDE)

El Modelo Digital de Elevación (MDE) fue obtenido de la misión *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) de 30 metros de resolución (<https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>). Este modelo fue inicialmente liberado en la resolución de 90 metros, sin embargo, al final del 2015 la Presidencia de los Estados Unidos de América liberó la versión en su formato de captura original de 30 metros, permitiendo que fuera descargada sin costo y mejorando de esta forma el acceso a información de mayor precisión a nivel mundial. El modelo actualmente puede ser descargado de la página: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

En el momento de la descarga, el modelo tenía algunos vacíos de datos o huecos que fueron llenados haciendo uso de la herramienta *PitRemovalTool* para *ArcGIS* (Jackson, 2012); la cual presentó los mejores resultados para este procedimiento (**Figura 2**).

Luego de ser rellenados los huecos del modelo, se aplicaron otras correcciones que permitieron eliminar sumideros o crestas artificiales que dificultan la definición de la superficie de dirección de flujo sobre el MDE. Estos procedimientos, denominados hidro-condicionamiento del modelo, fueron realizados haciendo uso de la extensión *ArcHydro*¹ para *ArcGIS* (ESRI, 2011) y serán descritos en la siguiente sección.

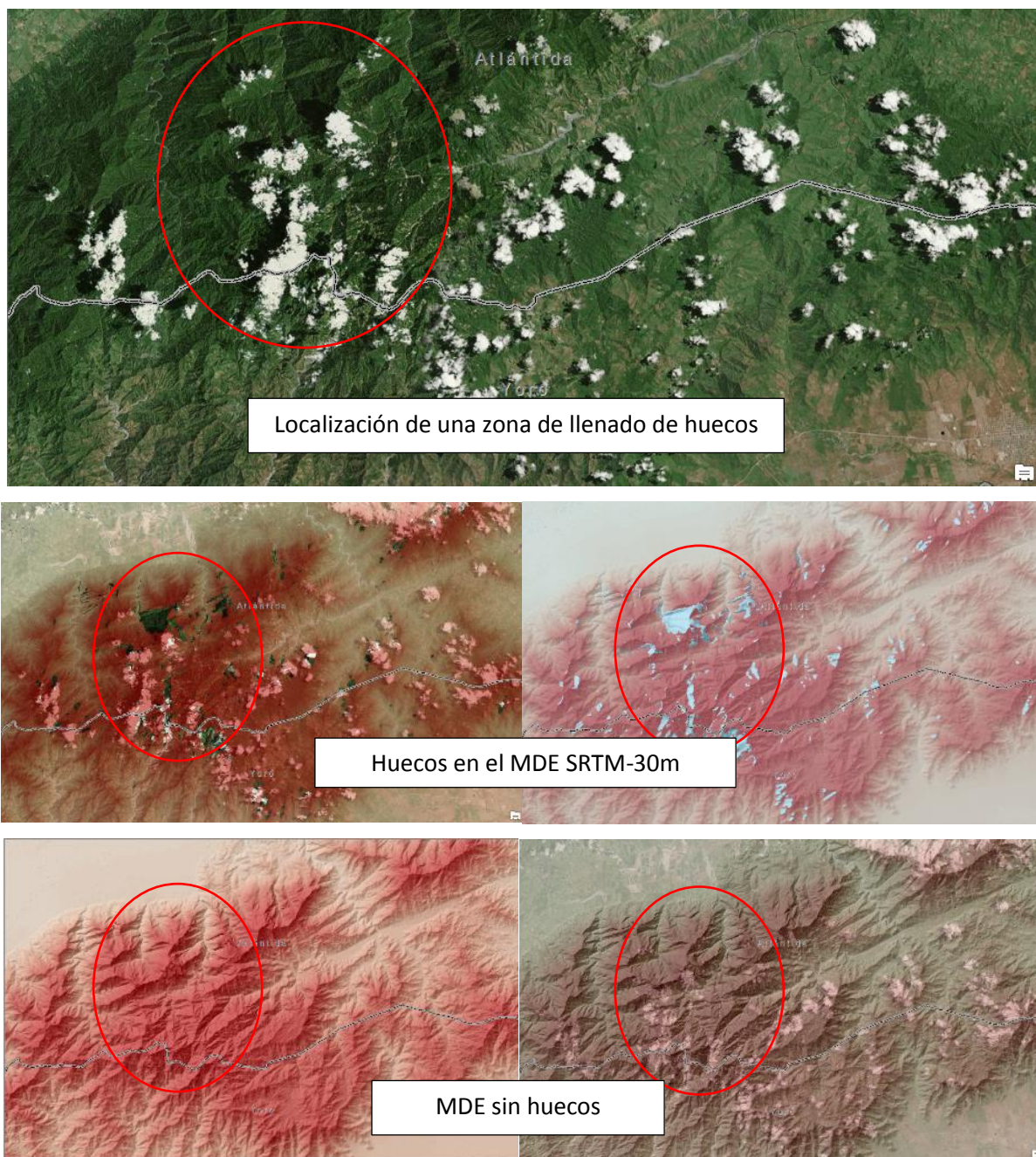


Figura 2. Vista de una zona donde se realizó el llenado de huecos del MDE SRTM de 30m

¹ Disponible para su descarga en: <http://downloads.esri.com/archydro/archydro/>

4.2 Generación de modelos de datos en ArcGIS para generación de microcuencas

Haciendo uso del *ModelBuilder* de *ArcGIS* se diseñaron 12 modelos de datos que incluyen todos los procesos necesarios para la delineación de drenajes y delimitación de sus áreas de aporte, con lo cual fueron generadas las microcuencas. Estos modelos estarán disponibles para su posterior uso en la dirección electrónica: https://github.com/CIAT-DAPA/usaid_hnd.

Los modelos de datos fueron organizados en la caja de herramientas “*Modelos_Delimitacion_10-3.tbx*” para su correspondiente uso en el *ArcToolBox* de *ArcGIS* (**Figura 3**).

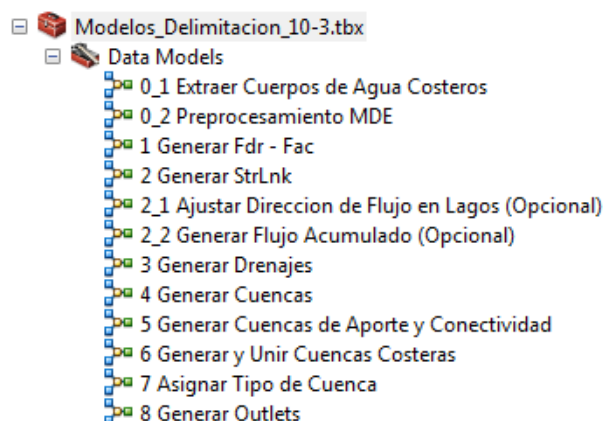


Figura 3. Caja de herramientas de ArcToolBox diseñada para el procesamiento del MDE

El primer modelo de datos “*0_1 Extraer Cuerpos de Agua Costeros*” (**Figura 4**), permite extraer los lagos, lagunas y demás cuerpos de agua ubicados en las costas del país; para lo cual se utilizó como entradas el MDE y los cuerpos de agua extraídos del mapa de cobertura vegetal del (Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF) (Duarte et al., 2014). Como resultado se obtuvo el MDE con huecos en donde se presentan cuerpos de agua costeros.

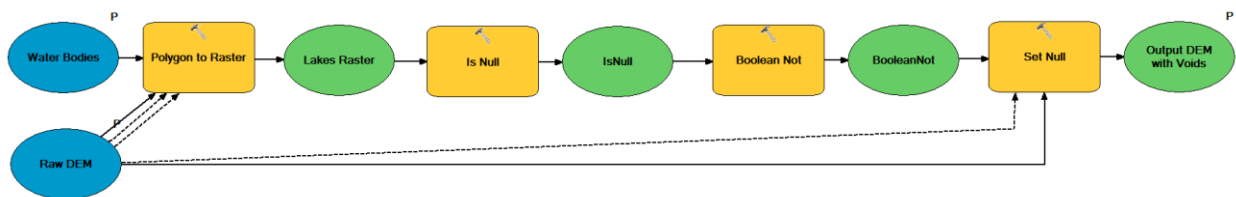


Figura 4. Modelo “0_1 Extraer Cuerpos de Agua Costeros”

El segundo modelo de datos “*0_2 Preprocesamiento MDE*” (**Figura 5**), complementa el hidrocondicionamiento del MDE que inicia con el llenado de huecos descrito en la etapa 1 de este reporte, con

tres procesos fundamentales: 1) Se crea las estructuras de líneas de drenaje que debido a la topografía plana de algunas zonas el MDE no define de forma adecuada, 2) Se “quema” esas estructuras sobre el MDE con la metodología *AGREE* y 3) Se corrige la superficie llenando los sumideros.

Las líneas de drenaje a ser quemadas fueron digitalizadas con base en imágenes de satélite en las zonas planas del país, como se mostrará más adelante en este informe. Al final del proceso se obtiene un modelo hidro-condicionado para el proceso de delimitación.

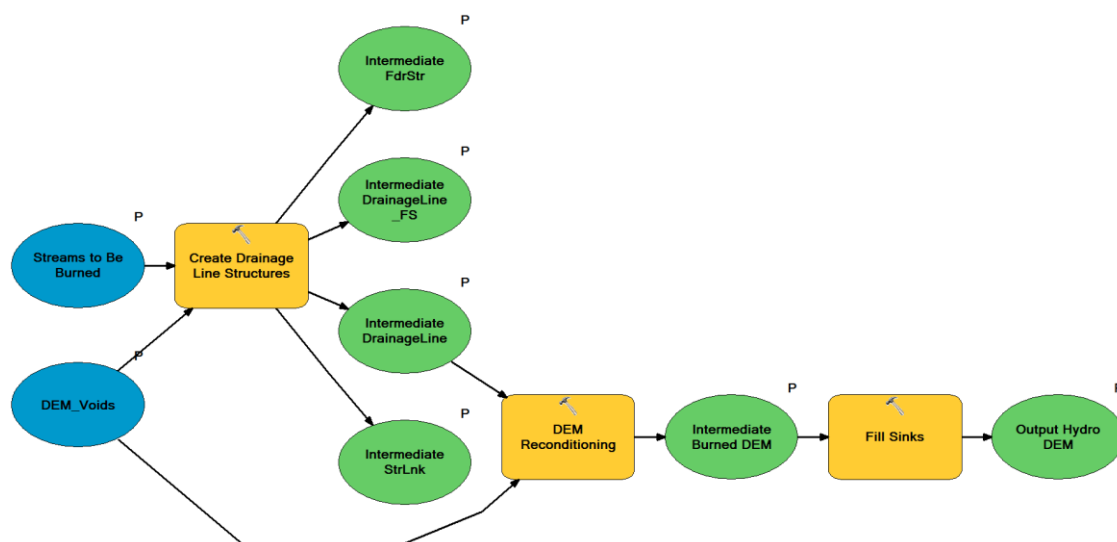


Figura 5. Modelo de datos “0_2 Pre-procesamiento MDE”

El tercer modelo “1 Generar Fdr – Fac” (**Figura 6A**), calcula las superficies de dirección y acumulación de flujo de acuerdo a la metodología D8. En el caso de la dirección de flujo, cualquier gota de agua que vaya a transportarse por la superficie del MDE debe seguir únicamente una de ocho direcciones de acuerdo a la mayor diferencia de elevación de los 8 píxeles alrededor del píxel de análisis. Así, cada píxel tendrá valores entre 1 a 128 de acuerdo a la **Figura 6B** y a su vez, la superficie de acumulación de flujo suma el número de píxeles que se acumulan aguas arriba de cada píxel de análisis.

Estos son procedimientos estándar implementados en la extensión de análisis espacial *ArcGIS*.

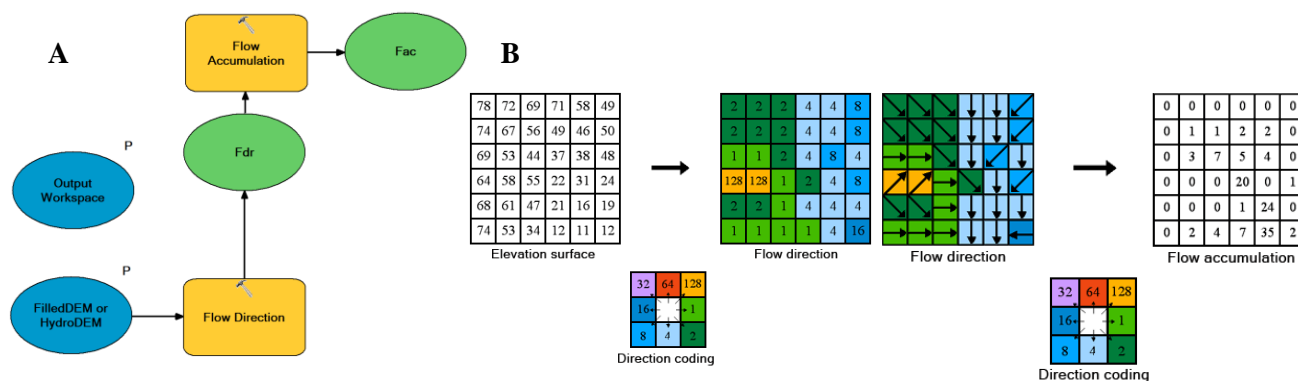


Figura 6. Modelo de datos “1 Generar Fdr – Fac” (A) de acuerdo a la metodología D8 (B)

El cuarto modelo “2 Generar StrLnk” (**Figura 7**), genera las conexiones de píxeles que representan el curso de los drenajes y sus intersecciones a partir de un umbral dado de acumulación de flujo. En esta superficie, cada segmento tiene un identificador único (*Str*) y en las intersecciones de los segmentos se genera una unión (*Link*) que comprende dos segmentos de drenaje aguas arriba y uno aguas abajo de dicho punto. En este trabajo se definieron drenajes para 10 umbrales de acumulación de flujo (como se detallará más adelante) y se definió en común acuerdo con la DGRH que el umbral adecuado para las delimitaciones de microcuencas correspondía a 10 mil píxeles de acumulación.

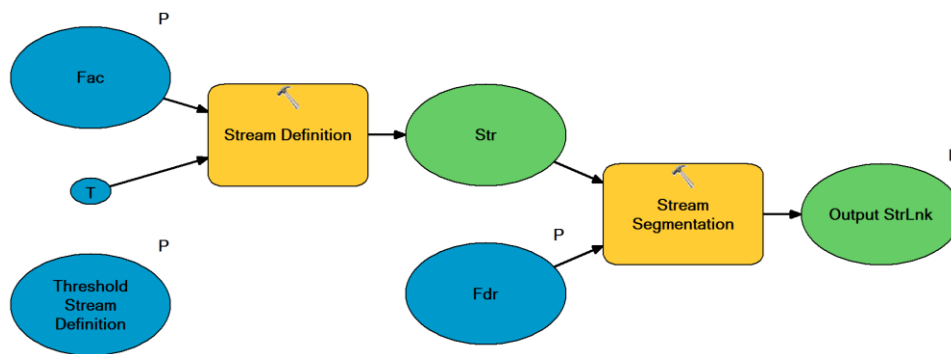


Figura 7. Modelo de datos “2 Generar StrLnk”

El quinto y sexto modelo (**Figura 8**) fueron generados específicamente para poder reflejar los cambios en la dirección de flujo inducidos artificialmente en el Lago de Yojoa, el cual naturalmente drenaba hacia el sur, sin embargo, la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) realizó varias modificaciones al flujo dejando una sola salida hacia el norte. Estos modelos modifican la dirección y acumulación de flujo en el Lago de Yojoa y los cuerpos de agua relacionados.

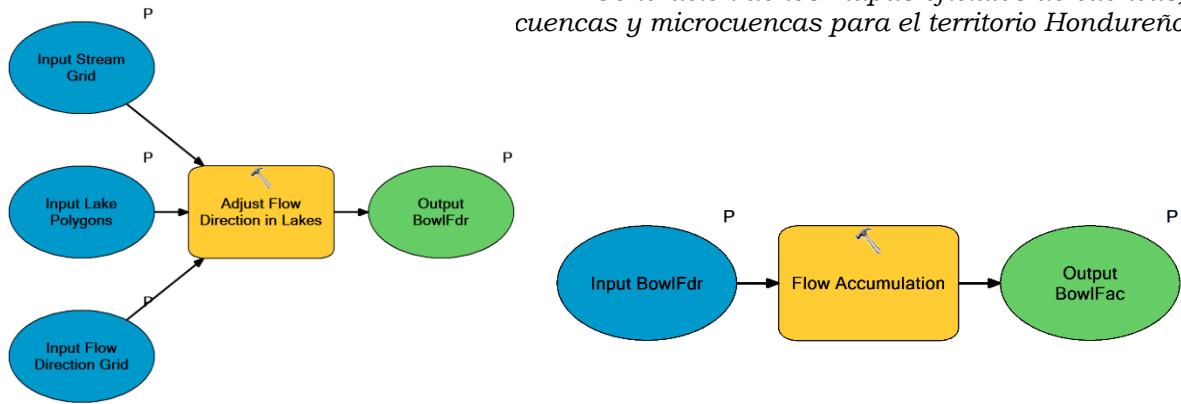


Figura 8. Modelos de datos “2_1 Ajustar Dirección de Flujo en Lagos (Opcional)” y “2_2 Generar Flujo Acumulado (Opcional)”

El séptimo modelo “3 Generar Drenajes” (**Figura 9**), convierte los drenajes desde la superficie de acumulación de flujo en formato *Raster* a vectores lineales, que representan los drenajes de diferente orden. En trabajos previos desarrollados por el CIAT en el occidente de Honduras (Monserate et al., 2016), determinaron que un umbral adecuado para definir el inicio de un drenaje en dicha zona son 500 píxeles de acumulación, basado en el MDE SRTM de 30m. Este umbral fue validado en campo en la época de verano de Abril de 2016. Así, en este trabajo se delimitaron los drenajes de 500 y 10000 píxeles de acumulación; los primeros para determinar los drenajes presentes en el territorio de forma permanente y los segundos para definir las microcuencas a partir de las intersecciones generadas a dicho nivel.

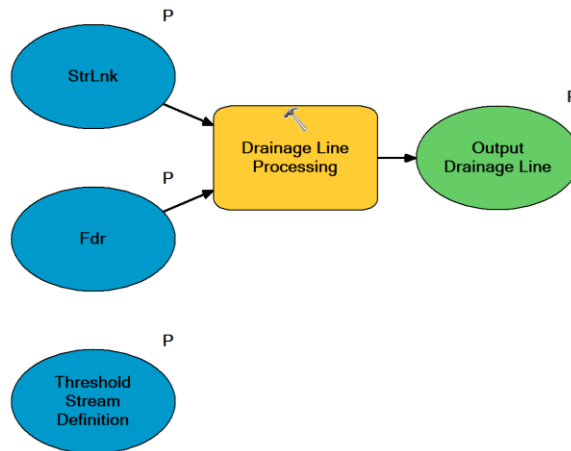


Figura 9. Modelo de datos “3 Generar Drenajes”

El octavo modelo “4 Generar Cuencas” (**Figura 10**), permite delimitar las áreas de drenaje (*Catchment areas*) a partir de los puntos de intersección de dos drenajes o “Link” generado en el modelo de la Figura 7. En cada “Link” se generan dos áreas de drenaje asociadas a cada drenaje que llega a éste. De esta forma, todo el territorio queda sub-dividido en microcuencas o áreas de drenaje. Solamente el terreno cercano a

las zonas costeras o áreas fronterizas no le es asignado una microcuenca, sin embargo en los siguientes pasos, serán asignadas microcuencas para estas zonas.

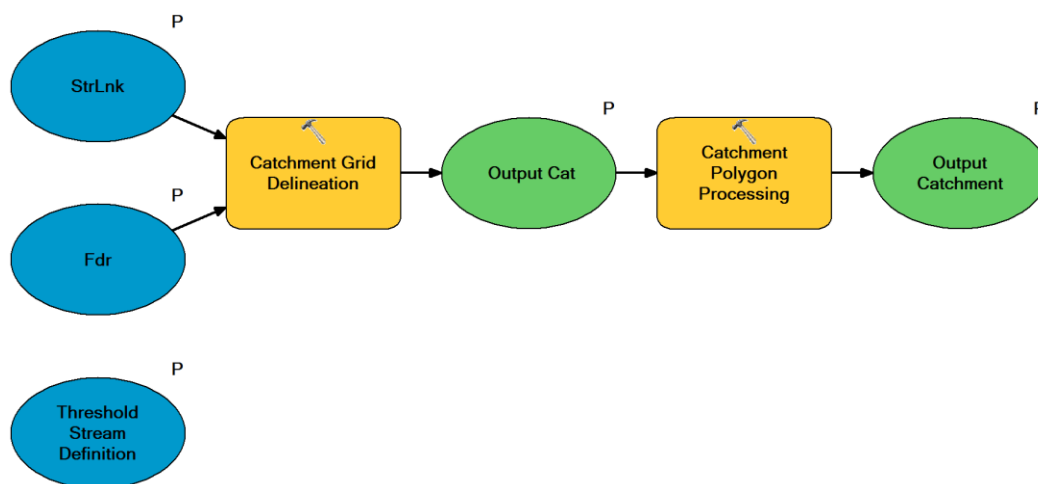


Figura 10. Modelo de datos “4 Generar Cuencas o Áreas de Drenaje”

En el modelo 9 (**Figura 11**) se generan las áreas de aporte o drenaje para cada uno de los puntos de intersección de dos drenajes definidos en los pasos anteriores (Links). En este caso, el procedimiento identifica las áreas de drenaje de todos los puntos hasta la zona más alta de la cuenca, por lo que si el área de drenaje de un punto contiene al área de drenaje del punto aguas arriba, el modelo genera la conectividad entre las dos microcuencas. Así, al finalizar este procedimiento, para cada microcuenca se conocen cuáles son las correspondientes microcuencas que le drenan o se encuentran aguas arriba. Como resultado, se obtienen dos campos que permiten establecer la conectividad dentro del sistema; el *HydroID* que es un identificador único de una microcuenca y el *NextDownID* que es el identificador de la microcuenca a la que drena sus aguas una microcuenca en específico.

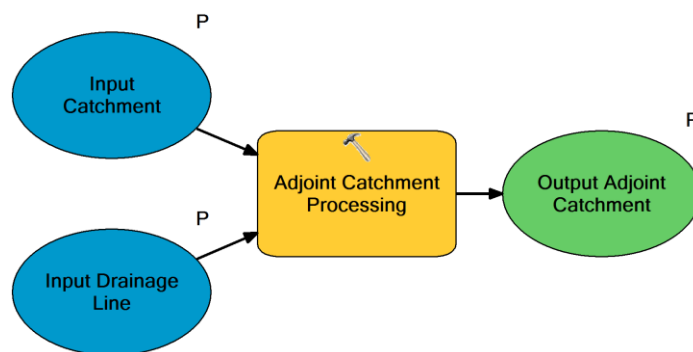


Figura 11. Modelo de datos “5 Generar Cuencas de Aporte y Conectividad”

En el décimo modelo de datos (**Figura 12**) se adicionan algunas microcuencas que quedan localizadas en los bordes del MDE y no tienen una microcuena que les drene sus aguas. Además, el umbral de acumulación de flujo de 10,000 píxeles no permitió definir una intersección de drenajes para estas microcuencas.

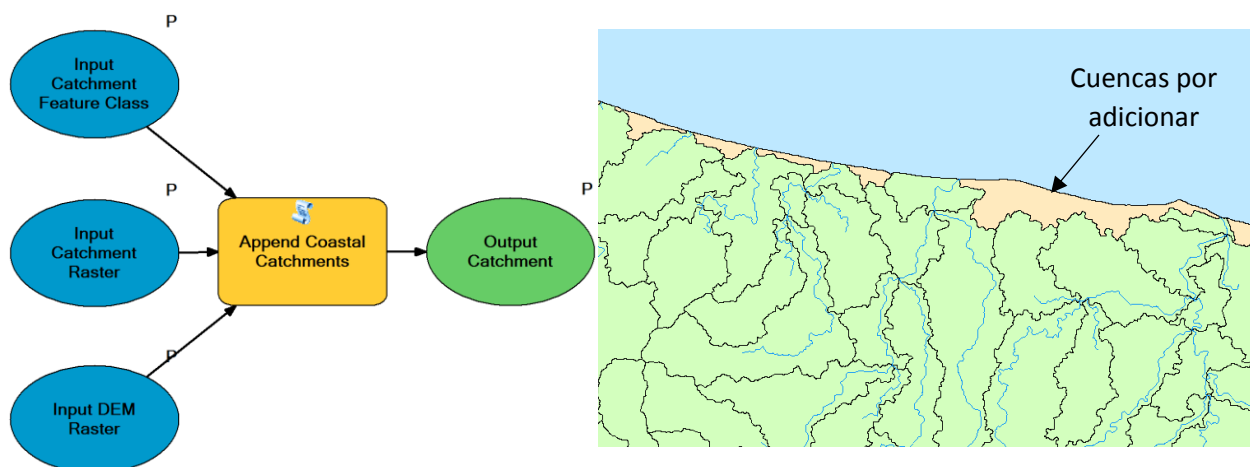


Figura 12. Modelo de datos “6- Generar y Unir Cuencas Costeras” y cuencas costeras por adicionar

El undécimo modelo (**Figura 13**) define el tipo de microcuena mediante la adición del campo *CatType*. En este campo originalmente se asigna la palabra “*Drainage*” cuando se trata de una cuena de drenaje y “*Coast*” en el caso de una costera. En el caso de Honduras el modelo definió 6,500 de tipo “*Drainage*” y 357 de tipo “*Coast*”. A las microcuencas de tipo “*Coast*” el modelo asignó un nuevo *HydroID* diferente a cualquiera de los definidos anteriormente y el *NextDownID* asignado es «-1». Lo anterior debido a que no drena a ninguna otra microcuena. Para el caso de Honduras, algunas microcuencas fronterizas se trataron como costeras en el modelo, esto debido a que la delimitación de hizo basado en el MDE sólo del territorio Hondureño y algunas drenan al Salvador, Guatemala o Nicaragua. Sin embargo, en la base de datos se diferenciaron ambos tipos de microcuencas. En total, **se definieron 207 microcuencas costeras, 146 fronterizas y 6,500 de drenaje.**

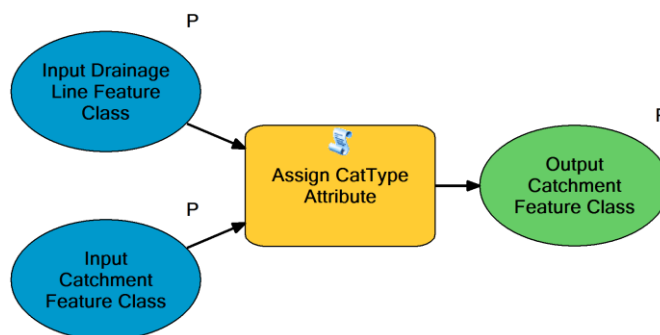


Figura 13. Modelo de datos 7 Asignar Tipo de Cuenca

Finalmente, el modelo doce (**Figura 14**) vectoriza los puntos de salida o desagüe (*outlets*) definitivos basado en los píxeles “Link”, que son las intersecciones de los segmentos de drenaje. Cada “outlet” está asociado al segmento de drenaje y a la microcuenca que pertenece.

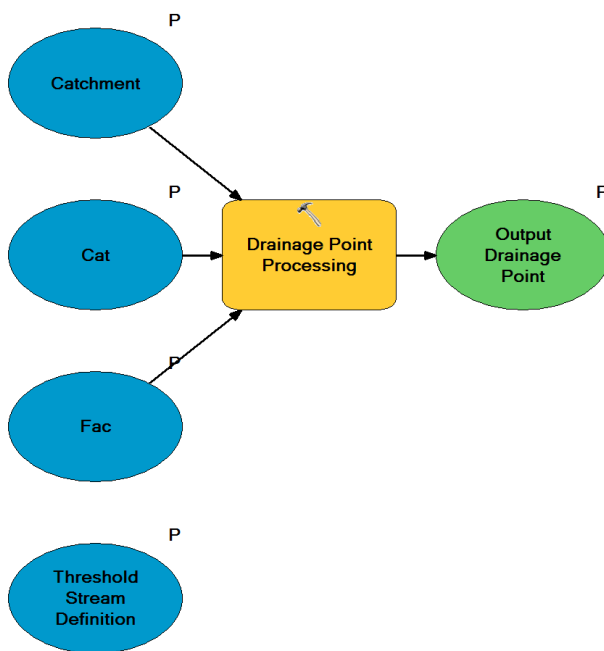


Figura 14. Modelo de datos “8 Generar Outlets”

4.3 Delimitación de microcuencas y definición del umbral de acumulación de flujo

Inicialmente fueron delimitadas microcuencas con varios umbrales de acumulación de flujo de acuerdo al MDE de 30 metros, usando los modelos descritos en la sección anterior. Las delimitaciones generadas estuvieron basadas en umbrales desde 500 a 50,000 píxeles de acumulación. Por medio de consultas con la DGRH y mediante la visualización de los resultados en *ArcGIS*, fue definido el umbral de 10,000 píxeles como el más adecuado.

Los dos criterios tenidos en cuenta para esta delimitación fueron: la posibilidad de ser un umbral que permitiera dividir el territorio en espacios más pequeños que un municipio y evitar una división del territorio muy alta. Y una ventaja del umbral usado es que permite dividir el paisaje en zonas altas, medias y bajas de las subcuencas asociadas a un cuerpo de agua.

4.4 Corrección de drenajes y delimitación definitiva de microcuencas

Los resultados de la primera delimitación fueron comparados mediante una superposición espacial con las imágenes de satélite provistas en *ArcGIS* como mapas base. Como resultado, en las zonas demasiado planas y bajas, especialmente de las Cuencas de Ulúa y Chamelecón, se observó en algunos tramos una delineación incorrecta de los drenajes y sus microcuencas, dibujándose el cauce por lugares distintos a los de las imágenes de satélite (**Figura 15A**). Por tal motivo, fue necesario realizar un proceso de digitalización manual de los principales cauces en estas zonas planas e incorporarlos al MDE mediante el correspondiente proceso de “quemado” de drenajes, tal y como lo realiza el modelo de datos mostrado en la *Figura 5*.

En la **Figura 16** se muestra el mapa con las zonas planas (rosadas), en donde se realizó la comparación de los drenajes y se digitalizaron los de mayor visibilidad (líneas café oscuras) con el fin de hacer las correcciones respectivas. Finalmente, luego de la corrección, en la **Figura 15B** se puede observar la delineación de los drenajes y la delimitación de sus correspondientes microcuencas en forma coherente con relación a la imagen de satélite. Sin embargo, se debe aclarar que los cauces pueden cambiar en dichas zonas de forma regular; por lo que se advierte que estos resultados se deben analizar con precaución. Adicionalmente, en las zonas mencionadas se generaron algunos drenajes que no han podido ser verificados en la imagen de satélite.

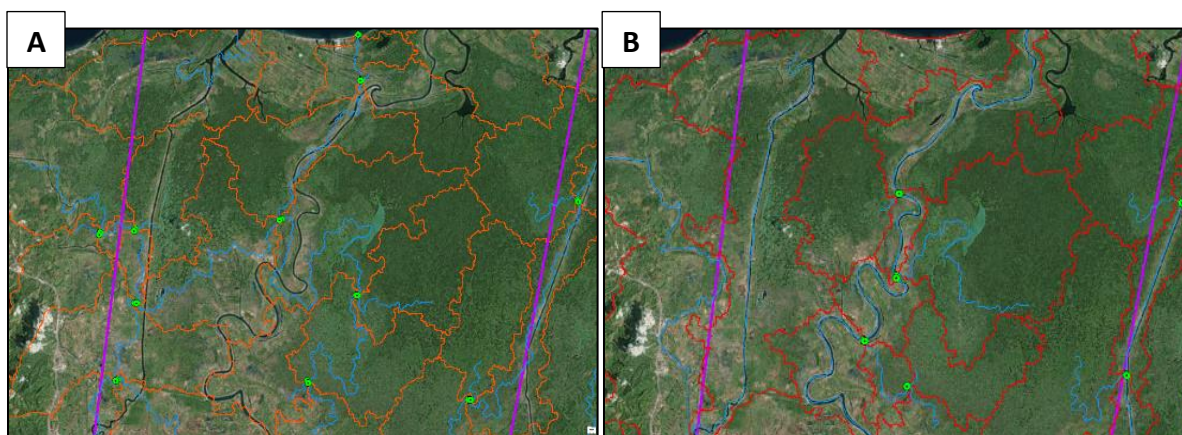


Figura 15. Comparación de resultados de la delimitación de microcuencas en zonas planas y bajas: A) Sin corrección de drenajes; B- Con corrección de drenajes (Rojo: delimitación de microcuencas; Azul: delineación de drenaje; Puntos Verdes: outlets)

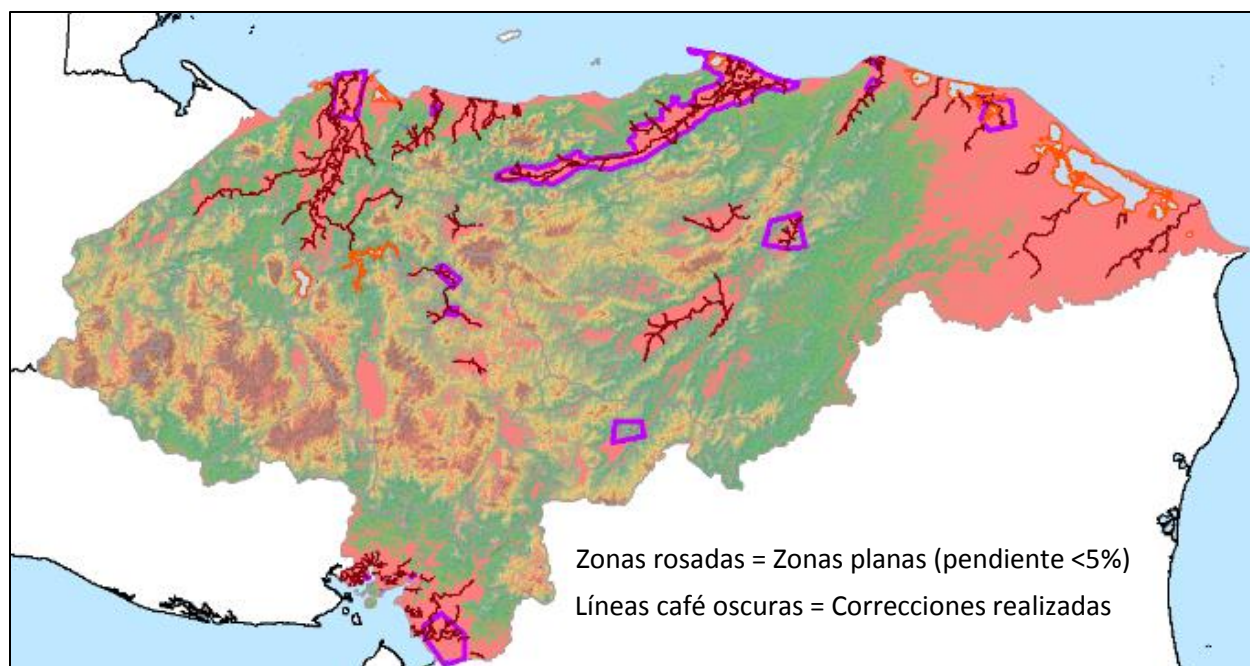


Figura 16. Digitalización de drenajes en zonas planas para corregir la delimitación inicial

4.5 Agrupación de microcuencas en cuencas y subcuencas

Las **6,845** microcuencas delimitadas en este estudio fueron agrupadas en **25** cuencas (**Figura 17, Tabla 1**) y **133** subcuencas (**Figura 18, Tabla 2**), a partir de una comparación con las delimitaciones anteriores a este trabajo.

De esta misma forma fueron asignados los nombres tanto a las cuencas como a las subcuencas. En esta comparación se tuvo especial atención en mantener la consistencia lógica en la configuración hidrográfica de las cuencas y subcuencas, es decir, cada una de ellas tiene una sola salida de agua (*outlet*); y en el caso de las cuencas todas las aguas desde el nacimiento hasta su desembocadura en el mar están definidas como una cuenca.

Debido a la búsqueda de dicha consistencia, se realizaron varios cambios a la configuración de cuencas y subcuencas con relación a la anterior delimitación, lo que se mostrará en detalle en los siguientes apartados.

*Generación de los mapas oficiales de cuencas,
subcuencas y microcuencas para el territorio Hondureño*

Tabla 1. Listado de las 25 cuencas mayores para Honduras definidas en este estudio

ID Cuenca	Nombre	Número de Subcuencas	Número de Microcuencas
01	Islas de la Bahía	4	4
02	Motagua	8	152
03	Omoa	3	24
04	Chamelecón	3	256
05	Ulúa	21	1389
06	Laguna de los Micos	1	29
07	Lean	1	70
08	San Juan-Cuero	2	45
09	Perla	3	23
10	Cangrejal	6	54
11	Lis-Lis	5	68
12	Aguan	7	666
13	Sico/Tinto/Negro	4	414
14	Plátano	3	161
15	Patuca	17	1601
16	Nakunta	4	208
17	Cruta	3	97
18	Coco/Segovia	4	329
19	Choluteca	10	484
20	Negro	3	67
21	Sampire	1	51
22	Nacaome	7	191
23	Goascorán	5	109
24	Lempa	7	337
25	Islas Cayos Pacífico	1	16
Total		133	6,845

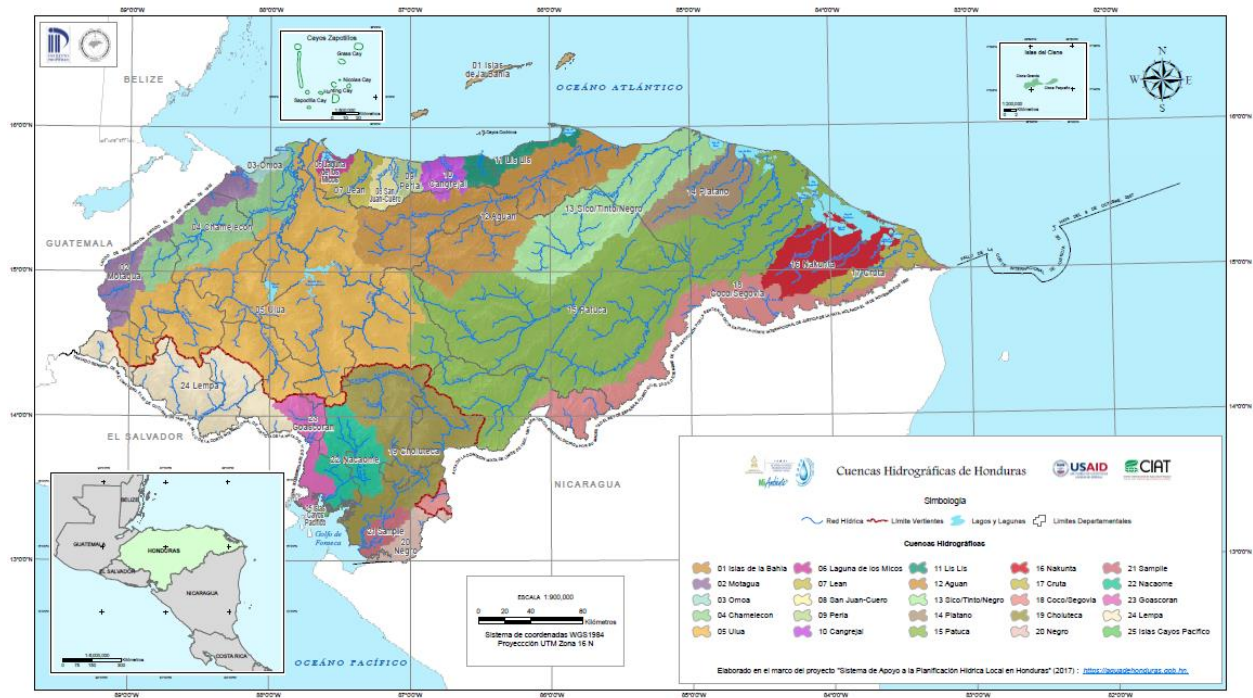


Figura 17. Mapa oficial de cuencas de Honduras

*Generación de los mapas oficiales de cuencas,
subcuencas y microcuencas para el territorio Hondureño*

Tabla 2. Listado de 133 subcuencas definidas para Honduras en este estudio

ID	Nombre	# Micro Cuencas	ID	Nombre	# Micro Cuencas	ID	Nombre	# Micro Cuencas
0101	Utila	1	0902	La Lagarta	3	1601	Huamuc	17
0102	Roatán	1	0903	Perla	5	1602	Ibantara	94
0103	Guanaja	1	1001	Bonito	9	1603	Nakunta	59
0104	Cayos Cochinos	1	1002	Cangrejal	16	1604	Lakamaya	38
0201	El Playón	14	1003	Sambo Creek	8	1701	Cruta Baja	38
0202	Copan	42	1004	Yaruca	9	1702	Cruta Medio	25
0203	Monja Jubuco Managua	31	1005	Rio Blanco	6	1703	Cruta Alta	34
0204	Techín Tarros	11	1006	Rio Viejo	6	1801	Comalí	28
0205	De Las Animas	3	1101	Papaloteca	28	1802	Coco/Segovia Alta	205
0206	Chiquito	7	1102	Lis-Lis	12	1803	Rus-Rus	39
	Nueva Cacao San	20						
0207	Idelfonso		1103	El Bejucal	6	1804	Coco/Segovia Baja	57
0208	Cuyamel	24	1104	Esteban/Betulia/Mármol	16	1901	Choluteca Esteros	54
0301	Chachaguala Omoa	14	1105	Laguna de Guaymoreto	6	1902	Istoca	6
0302	Tulian	5	1201	Piedra Blanca/Limón	43	1903	Choluteca Baja	54
0303	Laguna de Alvarado	5	1202	Aguan Baja	71	1904	Texiguat	43
0401	Chamelecón Baja	64	1203	Aguan Media	100	1905	Grande	28
0402	Chamelecón Media	84	1204	Mame	116	1906	Guacerique	14
0403	Chamelecón Alta	108	1205	Yaguala	105	1907	Del Hombre	28
0501	Ulúa Baja	15	1206	Locomapa Aguan	170	1908	Choluteca Alta	88
0502	Mezapa	40	1207	Aguan Alta	61	1909	Yeguaré	34
0503	Guaimas	11	1301	Laguna Ibans	19	1910	Choluteca Media	135
0504	Cuyamapa	64	1302	Sico/Grande/Tinto/Negro	146	2001	Negro Bajo	20
0505	Sulaco	111	1303	Sico-Paulaya	87	2002	Negro	43
0506	Siale	35	1304	Grande	162	2003	Iguazala	4
	Grande de Agua	74						
0507	Caliente		1401	Twás	18	2101	Sampile-Esteros	51
0508	Tuliapa	106	1402	Sicre	50	2201	Nacaome	39
0509	Humuya Alta	98	1403	Plátano	93	2202	Guacirope	40
0510	Grande de Otoro Jaitique	130	1501	Patuca Baja	120	2203	Grande de Reitoca	29
0511	Gualcarque	40	1502	Warunta	157	2204	Verdugo	29
0512	Mejocote	77	1503	Patuca Media	109	2205	Moramulca	19
0513	Higuito	113	1504	Patuca Alta	142	2206	Sacamil	16
0514	Jicatuyo	84	1505	Guayambre	109	2207	Grande Nacaome	19
0515	Ulúa Alta	118	1506	San Francisco del Hato	50	2301	Palagua Matagua	22
0516	Ulúa Media	39	1507	Los Almendros	36	2302	Rancho Grande	11
0517	Comayagua Blanco	70	1508	Jalan	162	2303	Grande/San Juan	22
0518	Humuya Baja	78	1509	Guayape Alta	152	2304	Goascorán	31
0519	Humuya Media	35	1510	Telica	93	2305	Golfo Goascorán	23
0520	Selguapa	23	1511	Guayape Baja	95	2401	Lempa	32
0521	Lago de Yojoa	28	1512	Talgua	14	2402	Sumpul	34
0601	Laguna de los Micos	29	1513	Tinto	40	2403	Mocal	73
		70					San Juan Intibucá	
0701	Lean		1514	Wampu	155	2404	Lempira	57
0801	San Juan Atlántida	35	1515	Wasprasni	33	2405	Negro Chinacla	58
0802	Cuero	10	1516	Cuyame	115	2406	El Venado	27
0901	Santiago Salado	15	1517	Juticalpa	19	2407	Guarajambala Jupual	56
						2501	Islas Cayos Pacifico	16

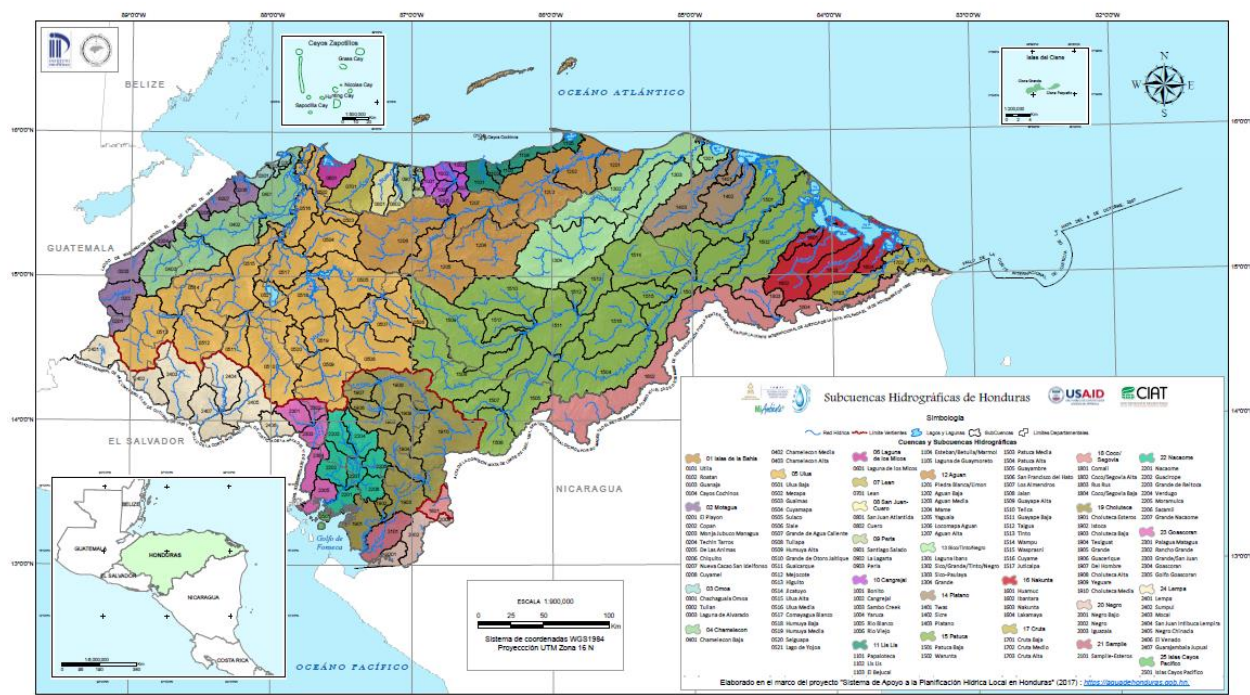


Figura 18. Mapa oficial de subcuencas de Honduras

4.6 Codificación y asignación de nombres

La codificación de cuencas se hizo utilizando dos dígitos desde el 01 al 25, siendo el 01 las Islas de la Bahía, el 02 la cuenca del Río Motagua al noroccidente del país y a partir de ellas se asignaron los códigos en sentido a las manecillas del reloj, hasta la 25 que son las Islas Cayos Pacífico. En el caso de las subcuencas, se utilizaron cuatro dígitos, los dos primeros correspondientes a la cuenca y los dos siguientes a la respectiva subcuenca, donde los números se fueron asignando siguiendo el sentido de las agujas del reloj dentro de cada cuenca. Para el caso de las microcuencas, el código está compuesto por 7 dígitos, los 4 primeros correspondientes a la subcuenca y los tres siguientes a la microcuenca, para lo cual fue asignado un código comenzando desde la microcuenca que se encuentra aguas arriba hasta la que se encuentre en la salida de la subcuenca.

Los nombres para cada cuenca y subcuenca son los utilizados en las delimitaciones anteriores y en el caso de la generación de nuevas subcuencas se usó el nombre del río principal de la subcuenca. A las microcuencas no se le asignaron nombres y la forma de ser identificadas es a partir de sus identificadores únicos; explicado en el párrafo anterior. Para facilitar el trabajo con las bases de datos, se siguieron las siguientes normas: se eliminó la palabra Río del campo Nombre; los nombres compuestos son separados por un espacio y cada palabra se inició con mayúscula; las unidades compuestas por dos o más cuerpos de

agua fueron separadas por un guion (-) para representar la ‘y’; las unidades cuyo cuerpo de agua tienen dos nombres fueron separadas por una barra oblicua (/) para representar la ‘o’.

4.7 Modificaciones con relación a las delimitaciones de cuencas y subcuencas anteriores

Cambios realizados a nivel de cuencas

Los principales cambios realizados a nivel de Cuenca se muestran en la **Tabla 3**, en donde se puede observar que los principales cambios fueron la modificación de la Cuenca Cuyamel, que cambió a Omoa y la unión de las Cuencas San Juan y Cuero en una sola. Adicionalmente, la Cuenca Coco o Segovia Sur fue unida a la Coco o Segovia. De esta forma quedaron definidas 23 Cuencas a las cuales se le adicionaron las Islas de la Bahía y los Cayos Pacífico, definiéndose un total de **25 Cuencas Mayores** para el territorio Hondureño.

Tabla 3. Modificaciones a las delimitaciones de cuencas

Cuenca Actual	Cuenca(s) Anterior	Modificación
03 Omoa	Cuyamel	Se unieron al Motagua las aguas del Cuyamel que drenan a dicho río en Guatemala. Adicionalmente los riachuelos y el Río Omoa, que drenan al mar y estaban en la cuenca del Cuyamel, se agruparon en la nueva Cuenca Omoa.
08 San Juan-Cuero	San Juan y Cuero	Fueron unidas en una sola, debido a que sus aguas se unen antes de llegar al mar.
18 Coco/Segovia	Coco o Segovia sur	Fue agregada la Coco o Segovia Sur a la de Coco/Segovia y se generó una Subcuenca 1801 Comalí, debido a que estas aguas drenan al Coco/Segovia en el territorio de Nicaragua.

Cambios realizados a las subcuencas

En la **Tabla 4** se muestran las modificaciones realizadas a nivel de Subcuencas, en donde en general se realizaron divisiones de algunas de ellas por recomendación de la DGRH y debido a que en varias de éstas ya se encuentran establecidos Organismos de Cuencas o están en proceso de implementación.

Tabla 4. Modificaciones a las delimitaciones de Subcuencas

Subcuenca Actual		Subcuencas Modificadas
0203	Monja Jubuco Managua	Unión de 2 subcuencas (Juyamá y Monja-Jubuco-Managua)
0901	Santiago Salado	División en 2 Subcuencas de Santiago-Salado
0903	Perla	
1001	Bonito	División en 3 Subcuencas de Cangrejal
1002	Cangrejal	
1003	Sambo Creek	
1101	Papaloteca	División en 5 Subcuencas de Lis Lis
1102	Lis Lis	
1103	El Bejucal	
1104	Esteban/Betulia/Marmol	
1105	Laguna de Guaymoreto	
1301	Laguna Ibans	División en 2 Subcuencas de Grande, Sico, Tinto o Negro
1302	Sico/Grande/Tinto/Negro	
1401	Twás	División en 3 Subcuencas de Plátano
1402	Sicre	
1403	Platano	
1601	Huamuc	División en 4 Subcuencas de Ibantra
1602	Ibantara	
1603	Nakunta	
1604	Lakamaya	
1701	Cruta Baja	División en 3 Subcuencas de Cruta
1702	Cruta Medio	
1703	Cruta Alta	
1905	Grande	División en 2 Subcuencas de Guacerique-Grande
1906	Guacerique	
2304	Goascoran	División en 2 Subcuencas de Goascoran
2305	Golfo Goascoran	

5. VISUALIZACIÓN Y DESCARGA DE MAPAS OFICIALES EN LA PLATAFORMA AGUA DE HONDURAS

5.1 Visualización de mapas oficiales en la Plataforma Agua de Honduras

Con el objetivo de tener públicamente disponibles las delimitaciones hidrográficas en los tres niveles de detalle para toda Honduras, se creó una aplicación web en la plataforma Agua de Honduras (<https://aguadehonduras.gob.hn/delimitacioneshonduras/>), a través de la cual cualquier persona podrá visualizarlas y consultarlas de forma interactiva (**Figura 19**). La Plataforma Agua de Honduras cuenta con un canal de YouTube desde el cual es posible consultar un video tutorial del manejo de la aplicación de *Delimitaciones Hidrográficas* que contiene los mapas de cuencas, subcuencas y microcuencas (<https://www.youtube.com/watch?v=yepPXiYlcFc&t=370s>).

Esta aplicación permite activar y desactivar las capas de cuencas, subcuencas y microcuencas, y sus respectivos drenajes asociados, las cuales son las capas cargadas por defecto. Además de visualizar capas enlazadas desde el [Geo-portal del Sector Forestal de Honduras](#).

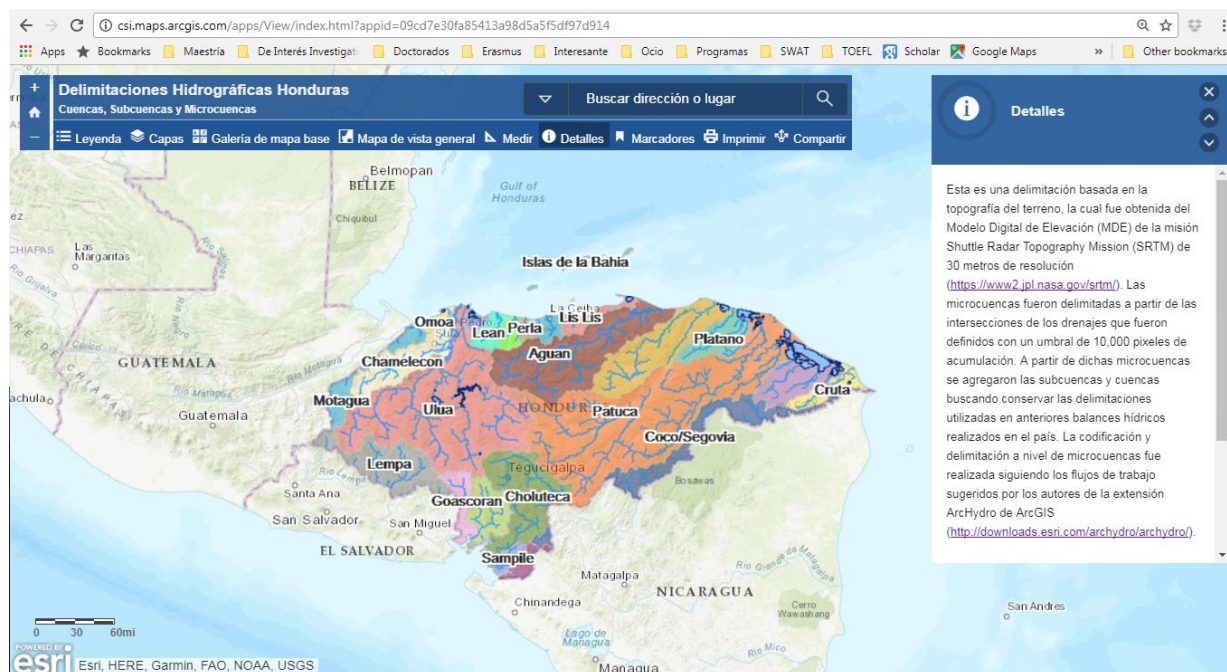


Figura 19. Vista previa de la aplicación web para la visualización de las delimitaciones hidrográficas de Honduras

En dicho aplicativo es posible cambiar el mapa base a partir de una galería de mapas en línea, consultar información de cada una de las delimitaciones, buscar y localizar tanto lugares como unidades hidrográficas de interés, realizar mediciones de diferentes elementos geométricos (i.e. áreas, líneas y puntos), imprimir la vista actual y compartir por medio de redes sociales o correo electrónico la extensión del mapa que se visualiza en ese momento.

Esta aplicación web puede ser accedida desde cualquier dispositivo móvil o computadora conectada a Internet, a través de la plataforma web del proyecto ‘Sistema de Apoyo a la Planificación Hídrica Local:

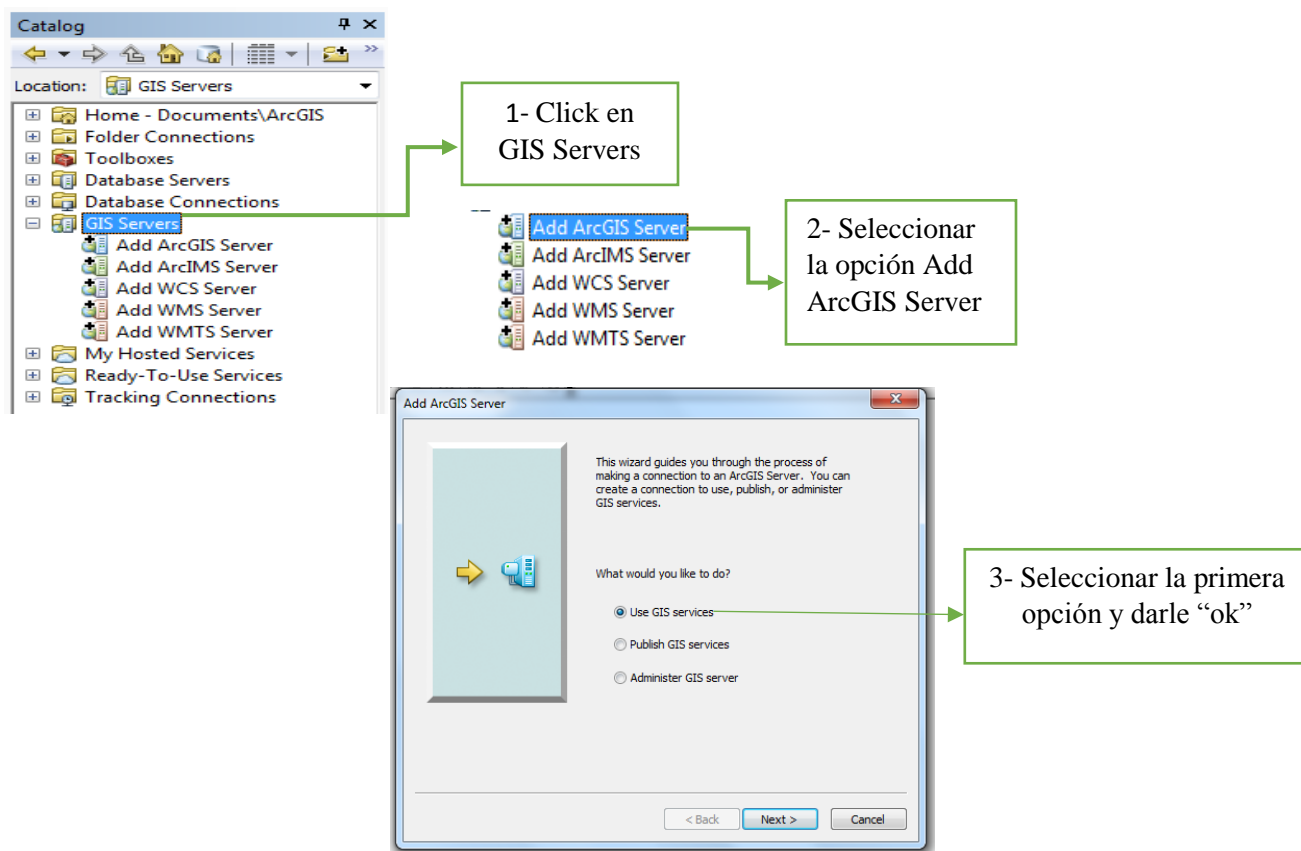
<https://aguadehonduras.gob.hn/delimitacioneshonduras/>

5.2 Descarga de las delimitaciones hidrográficas en formato SIG

Esta opción permite descargar los datos de la plataforma Agua de Honduras en formato SIG, en esta guía se muestran los pasos para realizarlo en ArcGIS y en QGIS.

Descarga en ArcGIS

En el ArcCatalog de ArcGIS se debe buscar la opción *GIS Servers*, luego *Add ArcGIS Server* y seleccionar la primera opción *use GIS Services*:

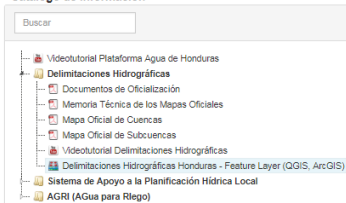


Generación de los mapas oficiales de cuencas, subcuencas y microcuencas para el territorio Hondureño

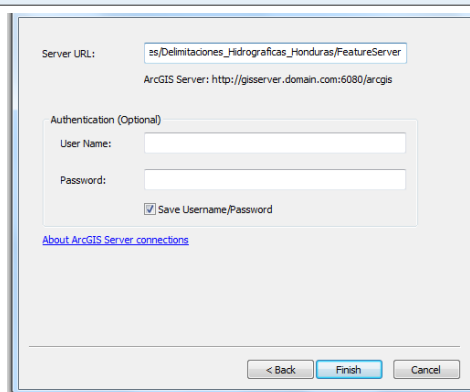
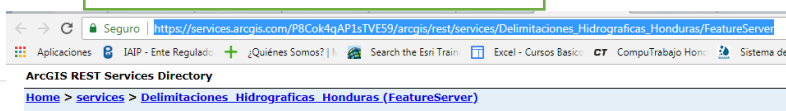
En la Plataforma Agua de Honduras copiar el enlace que se despliega con la opción “*Delimitaciones Hidrográficas Honduras-Feature Layer* (QGIS, ArcGIS)” (https://services.arcgis.com/P8Cok4qAP1sTVE59/arcgis/rest/services/Delimitaciones_Hidrograficas_Honduras/FeatureServer) que se encuentra en el enlace <https://aguadehonduras.gob.hn/descargas.html>, bajo la opción Delimitaciones Hidrográficas. Luego copiar el enlace en la opción *Service URL* y finalmente la opción *Finish*.



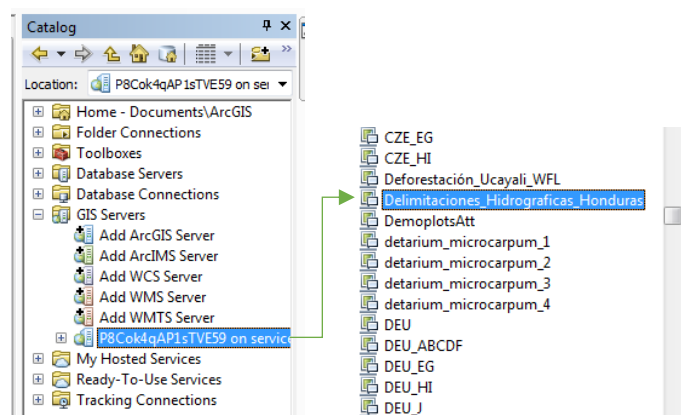
Catálogo de información



4. Copiar el link de la plataforma y pegarlo en el espacio “*Server URL*” y seguidamente dar clic en *Finish*

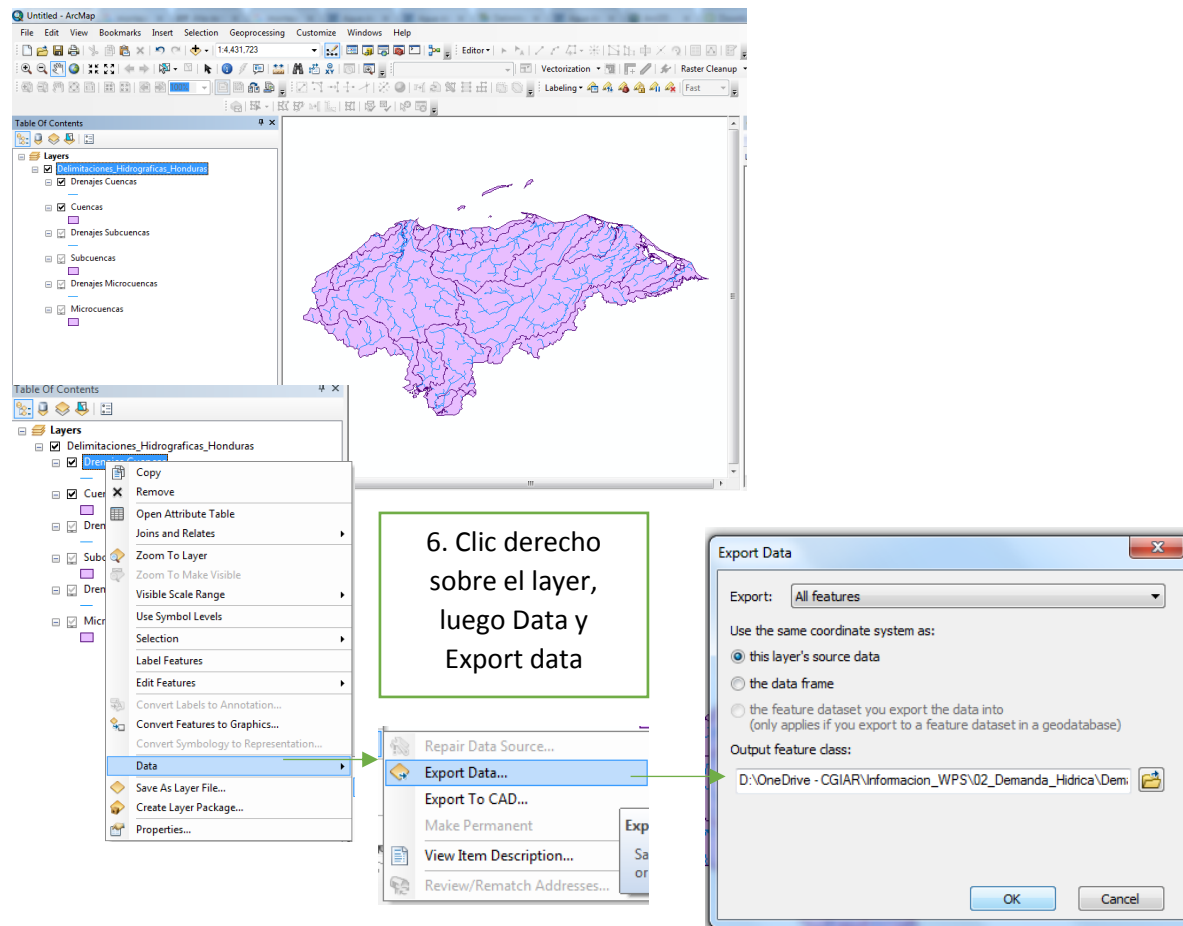


Cuando se establezca la conexión aparecerá el GeoServidor *P8Cok4qAP1sTVE59*, se debe desplegar el símbolo + y seleccionar la opción *Delimitaciones_Hidrograficas_Honduras*, para finalmente arrastrarla a ArcMap.



5. en el símbolo “+” desplegar las opciones y seguidamente buscar en el listado la opción “*Delimitaciones_Hidrograficas_Honduras*” y con un click sostenido arrastrarla hacia la columna de layers

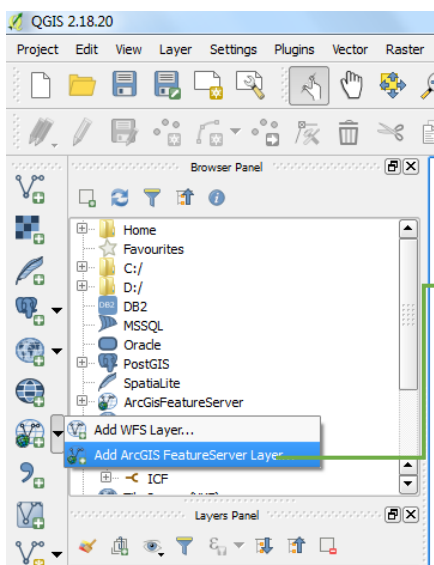
Finalmente, Luego que se despliegue la información en ArcMAP, es posible almacenar localmente una copia de los mapas en formato shape o en una GeoDatabase.



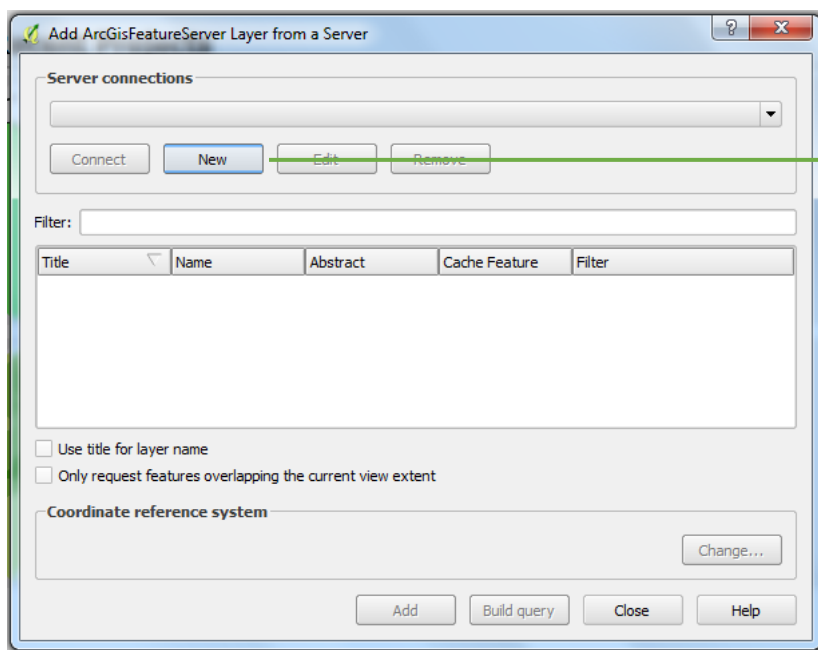
Descarga en QGIS

Este proceso de descarga está disponible en QGIS en versiones superiores a la 2.18. En QGIS desplegar el botón *Add ArcGIS FeatureServer Layer* y seleccionar la opción *New*. Luego Asignar un nombre a la conexión y copiar el enlace proporcionado en la plataforma Agua de Honduras (https://services.arcgis.com/P8Cok4qAP1sTVE59/arcgis/rest/services/Delimitaciones_Hidrograficas_Honduras/FeatureServer) (Ver Sección Anterior). Finalmente, podrá seleccionar el(los) Feature(s) a cargar en la vista.

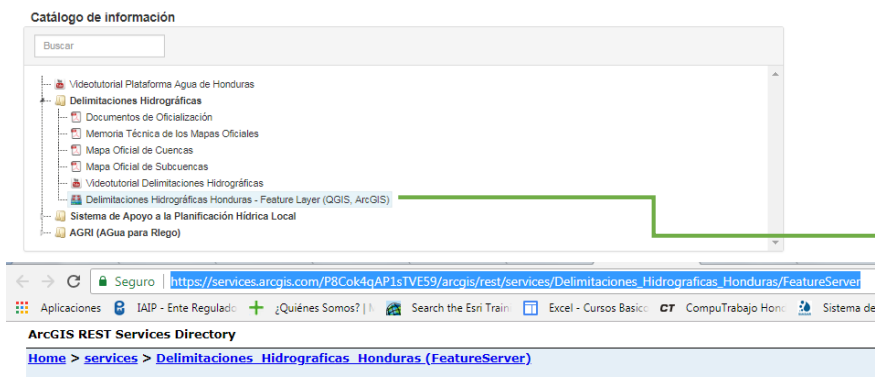
Generación de los mapas oficiales de cuencas, subcuencas y microcuencas para el territorio Hondureño



1. Seleccionar el botón , seguidamente dar clic en la opción "Add ArcGIS FeatureServer Layer"

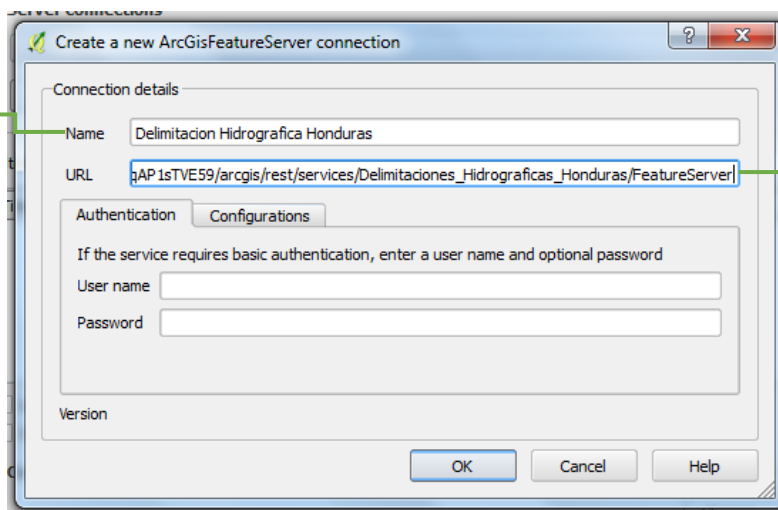


2. se abre el cuadro de dialogo dar click en la opción nuevo ("New")

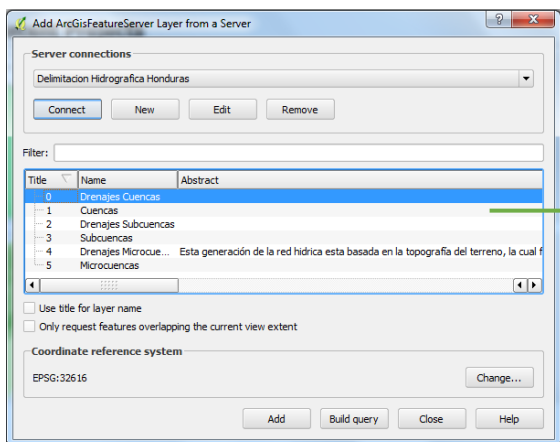


3. Copiar el link de la plataforma y pegarlo en el espacio "URL" también nombrar la conexión.

4. Asignar un nombre a la conexión



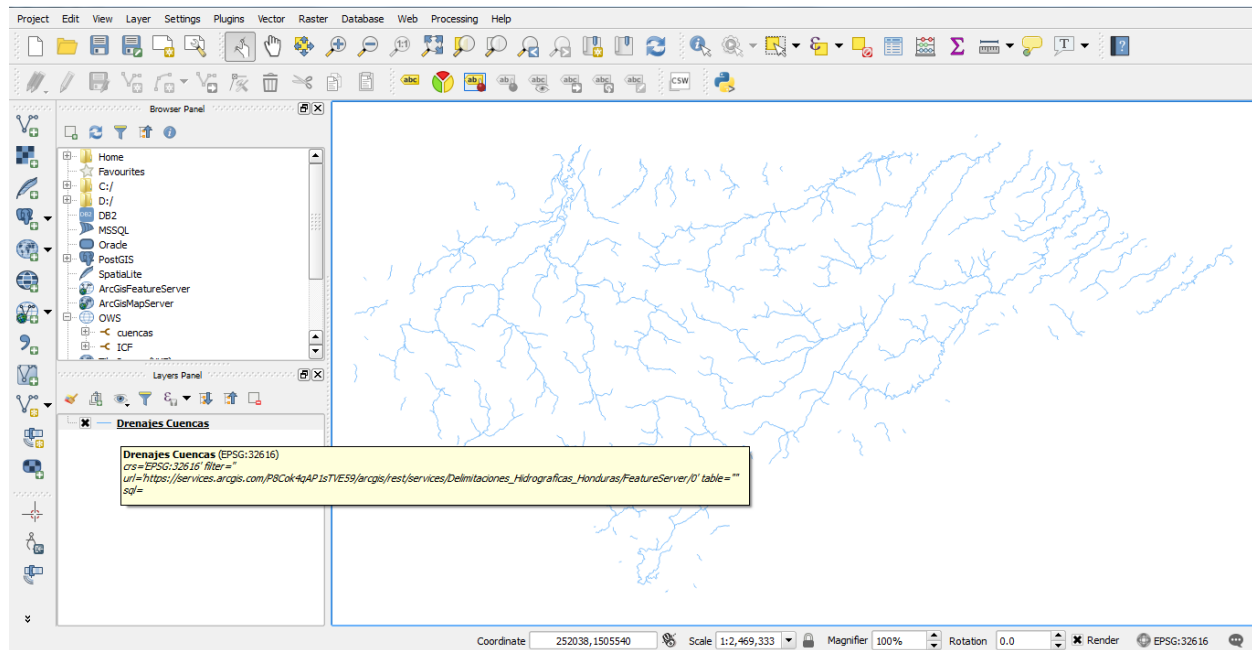
4. Copiar el link de la plataforma y pegarlo en el espacio de "URL"



5. Seleccionar la conexión creada y darle conectar ("Connect"), seleccionar el feature a desplegar en la vista y luego click en agregar (Add).

Generación de los mapas oficiales de cuencas, subcuencas y microcuencas para el territorio Hondureño

Finalmente se despliegan los mapas adicionados en el paso anterior y si es requerido se pueden descargar copias locales de la información en formato shapefile u otro formato deseado.



REFERENCIAS

CEDEX, SERNA, . (2004). Balance Hidrico Nacional de Honduras, 206.

Duarte, E. A., Orellana Díaz, O., Maradiaga, I. E., Casco, F. L., Fuentes, D. E., Jiménez Galo, A., ...

Milla Araneda, F. (2014). *Sistema de clasificación del mapa forestal y cobertura de la tierra de Honduras* (No. 6). Antiguo Cuscatlán, El Salvador, C.A.

ESRI. (2011). Arc Hydro Tools. Redlands, CA. Retrieved from

<http://downloads.esri.com/archydro/archydro/>

Guillen, R., García, C., Ochoa, F., Alvarez, A., Mancia, C., Artiaga, R., ... Munguía, A. (2016). *Manual y Guía de procedimientos para la organización y constitución de los organismos de cuencas.*

Tegucigalpa (Honduras).

Jackson, S. (2012). OptimizedPitRemoval. Austin: University of Texas - Center for Research in Water

Resources (CRWR). Retrieved from [http://tools.crwr.utexas.edu/OptimizedPitRemoval/CRWRTools Optimized Pit Removal.html](http://tools.crwr.utexas.edu/OptimizedPitRemoval/CRWRToolsOptimizedPitRemoval.html)

Monserate, F., Valencia, J., Quintero, M., Hyman, G., Da Silva, M., Coppus, R., ... Manueles, A. (2016).

Aumentando la resiliencia climática en el occidente de Honduras: explorando fuentes de agua para pequeños productores rurales. *CGSpace: A Repository of Agricultural Research Outputs*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10568/73454>

SERNA, & UNAH. (2014). *Evaluación de los Recursos Hídricos en su Régimen Natural*. Tegucigalpa (Honduras).

ANEXOS

Cuencas Mayores Honduras
"Actualización Base de Datos Históricas Nacionales"
República de Honduras, Centro América

Simbología

- Hidrografía
- Subcuencas
- Limite Centro América
- Cuerpos de Agua

Cuencas Mayores

- ▲ Laguna de Los Micos
- ▲ Río Aguan
- ▲ Río Chameleón
- ▲ Río Choluteca
- ▲ Río Coco o Segovia Sur
- ▲ Río Coco o Segovia Sur
- ▲ Río Cista
- ▲ Río Cuyamel
- ▲ Río Goascorán
- ▲ Río Lemsa
- ▲ Río Lempa
- ▲ Río Lili
- ▲ Río Motagua
- ▲ Río Nacaome
- ▲ Río Nulaima
- ▲ Río Negro
- ▲ Río Patuca
- ▲ Río Platano
- ▲ Río Sapote
- ▲ Río San Juan y R. Cuero
- ▲ Río Sica (Tinto o Negro)
- ▲ Río Uluá

Escala 1:700,000
Proyección UTM WGS-1984

Anexo 3- Segunda Delimitación de 25 Cuencas generada en la actualización del Balance Hídrico Nacional 2014

