

# 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 (cónvavo, 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 cóncavo, 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 del 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 km<sup>2</sup>. 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-

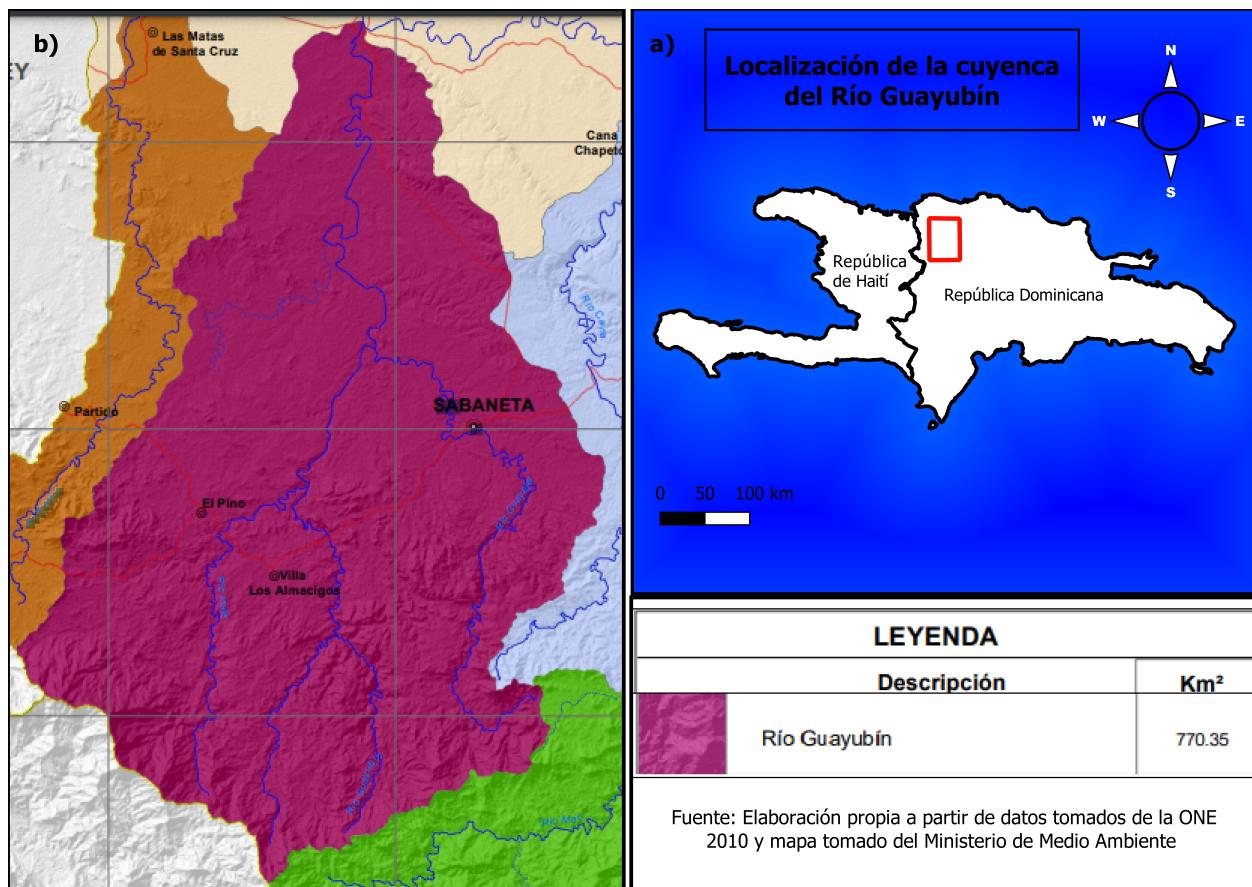


Figure 1: Cuenca del río Guayubín

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 Radr. Finalmente, para el cálculo de la curva y la integral hipsométrica, lo primero fue representar las cuencas con las librerías Sp Mapview; y segundo, calcular la integral y curva hipsométrica utilizando la función HypsoIntCurve (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.

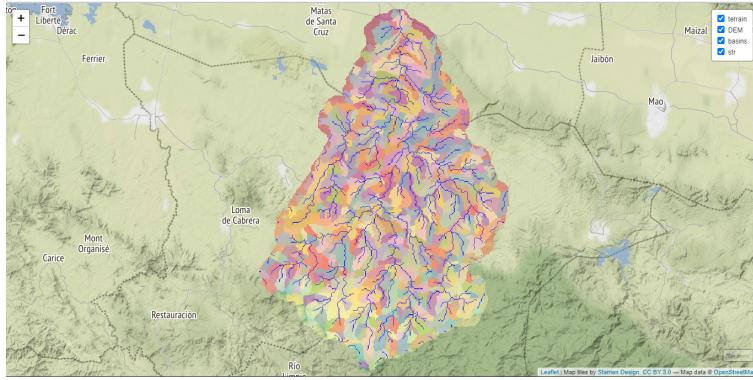


Figure 2: Capas generadas al calcular los parámetros hidrográficos de la cuenca

Aquí representada con leaflet (ver figura4)

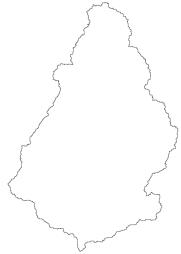


Figure 3: Vectorial de la cuenca del río Guayubín

En cuanto a la red de drenaje extraída 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. Estos pueden ser visualizados con leaflet (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, en leaflet (ver figura6). Aquí visualizada en leaflet 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. Aquí se visualizan las cuencas delimitadas y los ordenes de red (ver figura8).

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

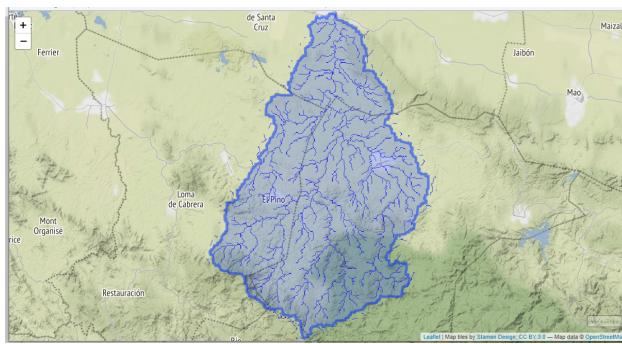


Figure 4: Cuenca del río Guayubín delimitada

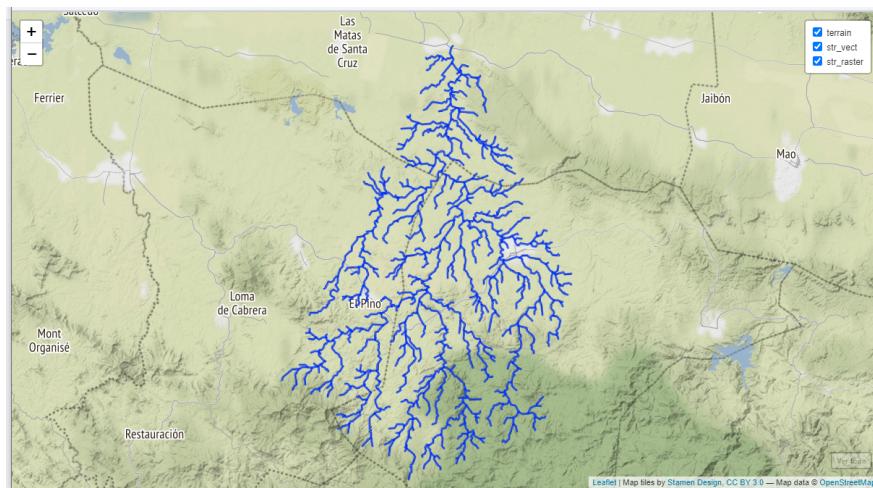


Figure 5: Red de drenaje del río Guayubín

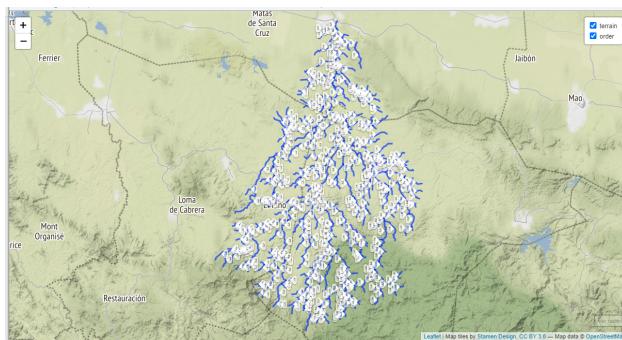


Figure 6: Ordenes de red del río Guayubín con simbología unica

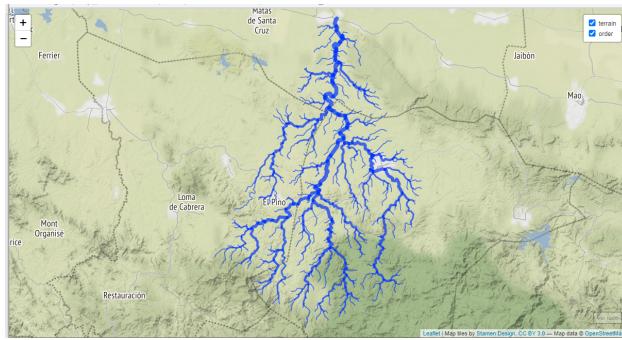


Figure 7: Ordenes de red del río Guayubin con simbología aplicando grosor segun su orden

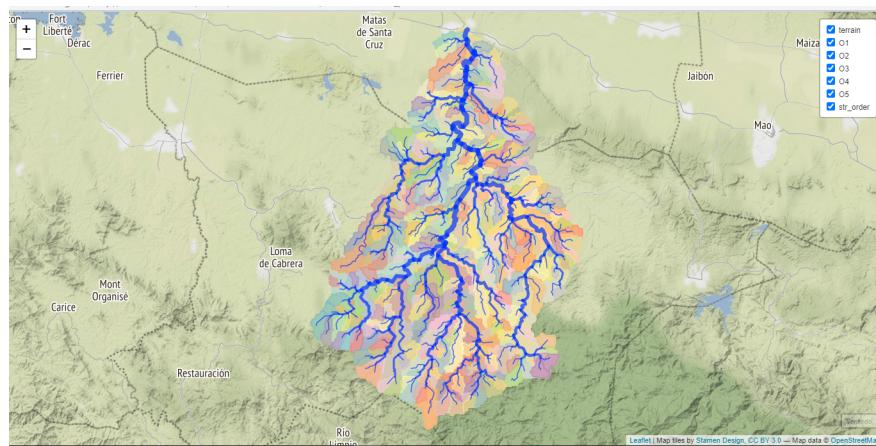


Figure 8: Subcuencas y ordenes de red del río Guayubin

mismo fue posible calcular la razon de bifurcacion (4.064346). (ver figura9).

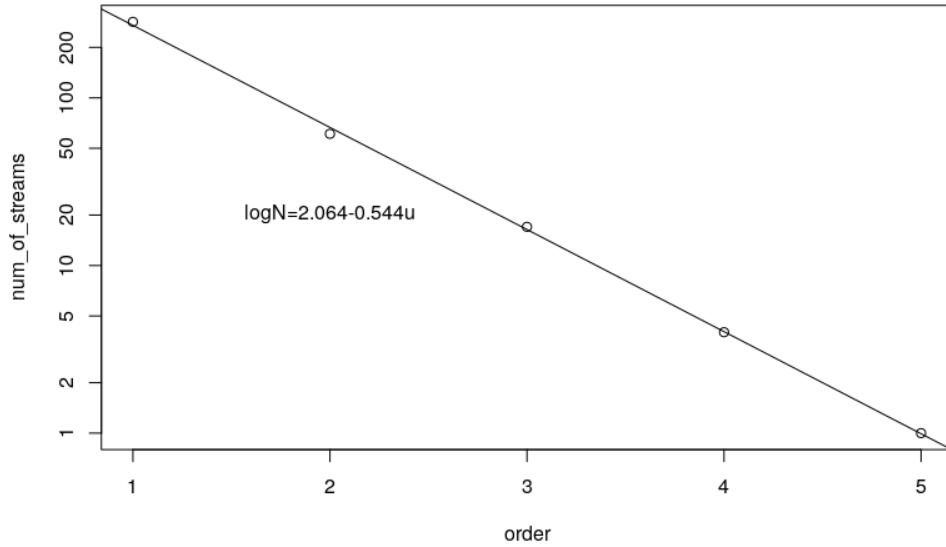


Figure 9: Número de redes segun su orden y Razon de bifurcacion por medio de coeficientes de regresion

Asi tambien se obtuvieron con el mismo addon `r.stream.stats`, estadisticas mas amplias sobre la red.

Summary:

Max order	Tot.N.str.	Tot.str.len.	Tot.area.	Dr.dens.	Str.freq.
(num)	(num)	(km)	(km <sup>2</sup> )	(km/km <sup>2</sup> )	(num/km <sup>2</sup> )
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 <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> )	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 <sup>2</sup> )
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
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 índices de concavidad, bajo el prefijo Gyb (ver figura 12).

stream	stream	ci
1	Gyb-1	0.59688059
2	Gyb-2	0.03127299

stream	stream	ci
3	Gyb-3	0.29980801
4	Gyb-4	0.29916212
5	Gyb-5	0.17766577
6	Gyb-6	0.28394390
7	Gyb-7	0.19284167
8	Gyb-8	-0.10206344
9	Gyb-9	0.08282423
10	Gyb-10	0.20654655
11	Gyb-11	0.18245774
12	Gyb-12	0.41931839
13	Gyb-13	-0.25074216
14	Gyb-14	0.38778387
15	Gyb-15	0.09593430
16	Gyb-16	-0.00514126
17	Gyb-17	0.38870710
18	Gyb-18	-0.12838671
19	Gyb-19	0.45559497
20	Gyb-20	0.30800052
21	Gyb-21	0.31322918
22	Gyb-22	-0.10635769
23	Gyb-23	0.01957733
24	Gyb-24	0.44752299
25	Gyb-25	0.17774471
26	Gyb-26	0.42982725
27	Gyb-27	0.15705975
28	Gyb-28	0.18432963
29	Gyb-29	0.19728723
30	Gyb-30	0.59437845
31	Gyb-31	0.21676465
32	Gyb-32	-0.01923832
33	Gyb-33	0.31131545
34	Gyb-34	0.10937291
35	Gyb-35	-0.01857437
36	Gyb-36	0.38463884
37	Gyb-37	0.56058882
38	Gyb-38	-0.01128950
39	Gyb-39	0.33855144
40	Gyb-40	0.16757638
41	Gyb-41	0.43546641
42	Gyb-42	0.08664117
43	Gyb-43	0.50047621
44	Gyb-44	0.16043136
45	Gyb-45	0.05523892
46	Gyb-46	0.43059893
47	Gyb-47	0.23599474
48	Gyb-48	0.51288891

stream	stream	ci
49	Gyb-49	0.62294206
50	Gyb-50	0.14796424
51	Gyb-51	0.28259012
52	Gyb-52	0.50952086
53	Gyb-53	0.34383993
54	Gyb-54	0.39314762
55	Gyb-55	0.54157833
56	Gyb-56	0.47292848
57	Gyb-57	0.26080951
58	Gyb-58	0.03618367
59	Gyb-59	-0.14210268
60	Gyb-60	0.19188075

#### 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 <sup>2</sup> ]	0.8560626101427108
Bifurcation Ratio (Horton)	3.8876
Length Ratio (Horton)	2.2966
Area ratio (Horton)	4.3704
Slope ratio (Horton)	1.4689

## 5 Discusión

De acuerdo con el s.a. (s.f.), la cabecera del río Guayubin se ubica en las inmediaciones de loma escondida

## 6 Agradecimientos

## 7 Información de soporte

## 8 Script reproducible

## Referencia

- Batlle, J. R. M. (2018a). *Función hypointcurve*. Retrieved from [https://github.com/geofis/rgrass/blob/master/integral\\_hypsometric\\_curve.R](https://github.com/geofis/rgrass/blob/master/integral_hypsometric_curve.R)
- Batlle, J. R. M. (2018b). *Función lfppnetwork*. Retrieved from [https://github.com/geofis/rgrass/blob/master/lfp\\_network.R](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](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:////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). *Geomorfología*. 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

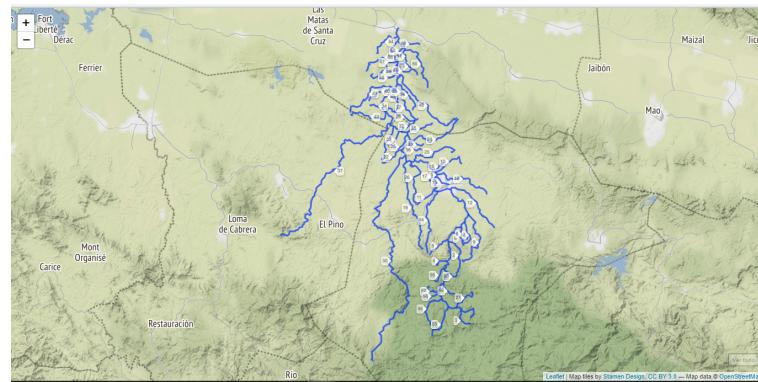


Figure 10: Cursos fluviales mas largos de la cuenca del río Guayubin

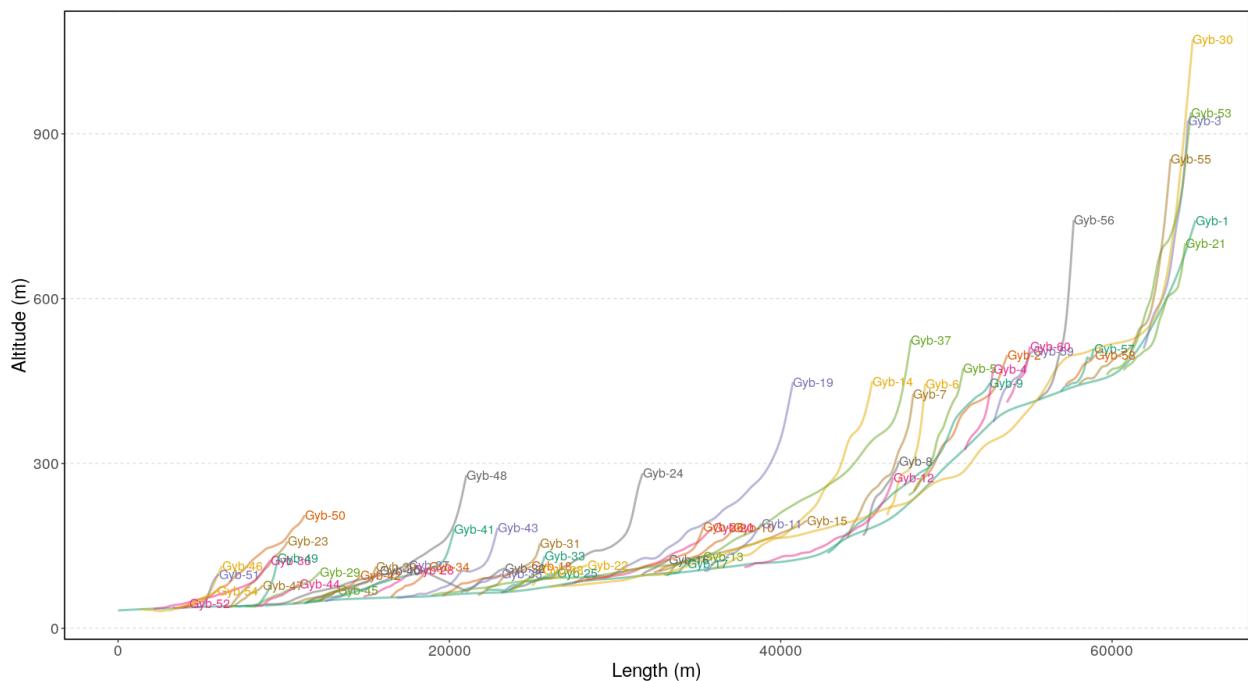


Figure 11: Perfiles longitudinales de los cursos mas largos en la cuenca Guayubin

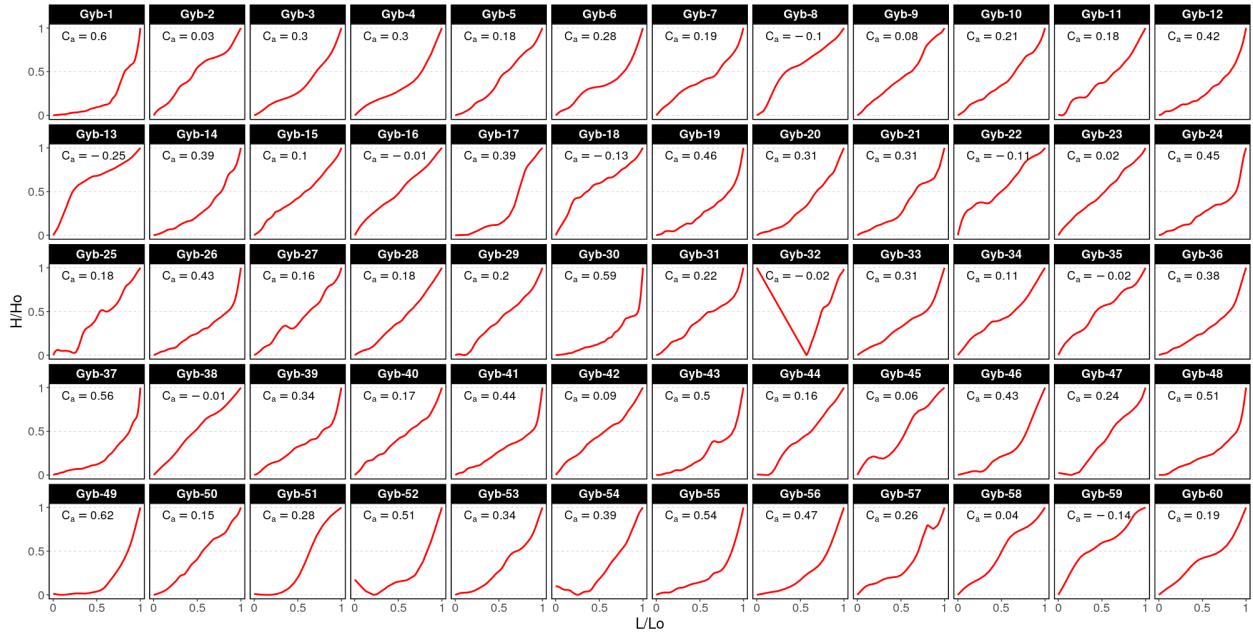


Figure 12: Perfiles longitudinales e indices de concavidad de los cursos mas largos en la cuenca del rio Guayubin

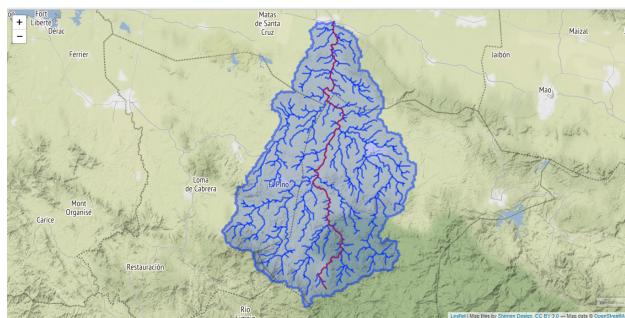


Figure 13: Cuenca del río Guayubin con su red de drenaje y su curso más largo

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-palmelas-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](https://en.wikipedia.org/wiki/Stream_order)