

**Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG).**  
Revista digital del Programa de Docencia e Investigación en  
Sistemas de Información Geográfica (PRODISIG). Universidad  
Nacional de Luján, Argentina.

<http://www.revistageosig.wixsite.com/geosig> (ISSN 1852-8031)

Luján, Año 13, Número 21, 2021, Sección I: Artículos. pp. 1-20

---

## **CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA CUENCA DEL RÍO LUJÁN, BUENOS AIRES, ARGENTINA**

**Pedro Riva<sup>1,2</sup> – Aníbal Sánchez Caro<sup>2</sup> – Fernanda Julia Gaspari<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.

<sup>2</sup> Grupo de Investigación en Ecología Acuática, Instituto de Ecología y Desarrollo  
Sustentable. Universidad Nacional de Luján.

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de la Plata.

[pedroriva89@hotmail.com](mailto:pedroriva89@hotmail.com)

### **RESUMEN**

La cuenca del río Luján está sometida a inundaciones recurrentes que impactan negativamente a las urbanizaciones y actividades que se desarrollan en las cercanías de sus cauces. La determinación y el análisis de las características morfométricas de una cuenca en parámetros de forma, relieve y drenaje son elementales para explicar su dinámica hídrica. El objetivo del trabajo fue caracterizar morfométricamente a la cuenca del río Luján, Buenos Aires, Argentina. Dichos parámetros fueron determinados a partir de un MDE a través del empleo de un SIG de uso libre. El área de la cuenca fue de 2938,50 km<sup>2</sup>, su longitud axial de 108,75 km y el ancho promedio de 27 km. Los valores obtenidos para los parámetros de forma indican que la misma es alargada y de forma oval-oblonga a rectangular-oblonga. La curva hipsométrica adimensional demostró que la cuenca está en equilibrio y en fase de madurez. La longitud del cauce principal fue de 135,7 km y su pendiente media de 0,043 %. Su drenaje fue de tercer orden, con baja densidad y escasa frecuencia, lo que hace que este sea pobre. El tiempo de concentración fue superior a las 50 horas. Todos los parámetros cuantificados son la base inicial para generar el modelado hidrológico de la cuenca del río Luján.

**Palabras claves:** Morfometría, Cuenca hidrográfica, SIG, río Luján; Hidrología.

### **ABSTRACT**

The Luján river basin is subject to recurrent floods that negatively impact the urbanizations and activities near its channels. Determining and analyzing the morphometric characteristics of a basin in terms of shape, relief and drainage parameters is fundamental to explain its water dynamics. The aim of this study was to morphometrically characterize the Luján river basin, in Buenos Aires, Argentina.

Parameters were determined based on a DEM using a free and open source GIS. It was determined that its area is 2938.50 km<sup>2</sup>, its axial length is 108.75 km, and its mean width is 27 km. The values obtained for the shape parameters indicate that it is elongated and oval-oblong to rectangular-oblong. The dimensionless hypsometric curve showed that the basin is in equilibrium and in the mature phase. The river length was 135.7 km with a mean slope of 0,043 %. Its drainage was of third order, with low density and frequency, which makes it poor. The concentration time was greater than 50 hours. All quantified parameters serve as the initial basis to generate an hydrological model of the Luján river basin.

**Keywords:** Morphometry; Watershed; GIS; Luján river; Hydrology.

## INTRODUCCIÓN

Una cuenca hidrográfica, desde una mirada hidrológica, se define como una unidad territorial que ocupa el río principal y sus afluentes, delimitada por la topografía del terreno a través de las divisorias de aguas (Ramakrishna, 1997; FAO, 2007).

En la actualidad, el concepto de cuenca tiene una connotación mucho más amplia, donde se incluyen a las relaciones socio-económicas que suceden dentro de los límites biofísicos anteriormente mencionados (Rodríguez Barrientos, 2006). Se considera a las cuencas hidrográficas como unidades físicas para la planificación y gestión del desarrollo sostenible mediante el estudio de las componentes: biofísica, social, económica, demográfica y jurídico institucional, conformándose un sistema integral (GWA-UNDP, 2003; Jouravlev, 2004; FAO, 2007).

Desde el punto de vista hidrológico, la cuenca es un colector que transforma la precipitación que recibe en escorrentía. Dicha transformación, depende de las condiciones climáticas y de las características físicas particulares de la cuenca (Gaspari *et al.*, 2009). El funcionamiento de una cuenca hidrográfica puede determinarse por su morfología, tipo de suelo, cobertura vegetal y uso de suelo (Henaos, 1988).

Las características físicas son descriptas a través de las propiedades morfométricas de la cuenca: forma, relieve y red de drenaje, derivadas de su geomorfología. Estas permiten obtener conclusiones preliminares sobre el funcionamiento del sistema hidrológico de una región, útiles para la gestión de los recursos naturales (Gregory y Walling, 1985; Campos Aranda, 1998).

Ante sucesos climáticos, la posibilidad de aprovechamiento hídrico y la capacidad de respuestas a los mismos, como la escorrentía superficial y el transporte de sedimentos y nutrientes, a lo largo de los distintos ecosistemas que integran una cuenca, están íntimamente relacionadas con las propiedades morfométricas de la misma (Gaspari *et al.*, 2012).

En la cuenca de estudio, las inundaciones por desborde del río Luján son un problema históricamente recurrente (Hass, 1995), afectando tanto ciudades como núcleos urbanos más pequeños y sectores rurales. Por lo anteriormente dicho, el estudio de las propiedades morfométricas de la cuenca del río Luján explica el comportamiento morfodinámico e hidrológico de ésta, lo que ayuda a prevenir impactos negativos en

casos de excedentes de precipitación y a planificar el uso sostenible de la misma (Domínguez, Gómez y Gómez, 2003).

El empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG), para el análisis de superficies mediante Modelos Digitales de Elevación (MDE), ha tomado importancia en estudios de los parámetros morfométricos en cuencas hidrográficas. La utilización de tecnología geoespacial (TG), reduce los costos y el tiempo en el planeamiento y en el manejo integral de cuencas debido a que permite conocer el funcionamiento del sistema hidrológico de una determinada región, estimando y almacenado los datos de las características descriptivas del área a través de programas computacionales (Salas Aguilar *et al.*, 2011).

El objetivo del trabajo fue caracterizar morfométricamente la cuenca del río Luján utilizando un SIG de uso libre.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Área de estudio**

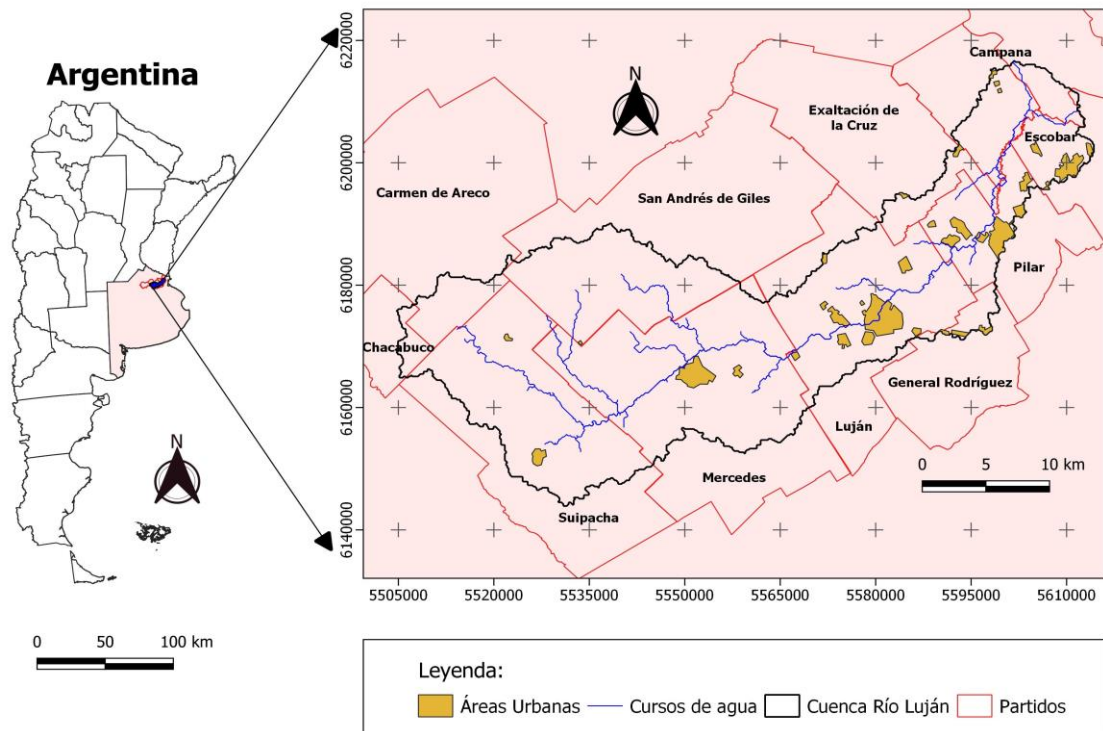
El estudio se llevó a cabo en la cuenca del río Luján, ubicada en el noreste de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Figura 1). La actividad predominante de la cuenca es la agropecuaria abarcando alrededor del 85 % de la superficie de la misma (Guichón *et al.*, 1999). A partir de finales de la década del 90, gracias al cambio de modelo productivo basado en el paquete tecnológico siembra directa, semilla RR y glifosato, la agricultura desplazó a la ganadería hacia las zonas más bajas de la cuenca, suelos con aptitud agrícola nula y riesgo muy alto de inundación y anegamiento. También existe una fuerte actividad industrial en los alrededores de las zonas urbanas.

En dicha cuenca habitan un poco más de un millón de personas (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2012) y en las proximidades del cauce principal se desarrollan ciudades como Suipacha, Mercedes, Lujan y Pilar, que utilizan al río y a sus tributarios para descargar efluentes líquidos urbanos, en muchos casos sin o con poco tratamiento previo, con un efecto negativo para el ecosistema (Sánchez Caro, 2010; Castañé, Sánchez Caro y Salibián, 2015).

Otro problema de las últimas dos décadas, sobre todo en la cuenca media y baja, es el aumento de las urbanizaciones cerradas polderizadas (UCP), que son suburbanizaciones residenciales dirigidas a sectores de elevados ingresos a través emprendimientos destinados al uso residencial de muy baja densidad, que necesitan para su desarrollo amplias extensiones de suelo y lo hacen sobre áreas de gran valor patrimonial y fragilidad ambiental, es decir, sobre humedales (Fernández, Kochanowsky y Sgroi, 2010; Humacata, 2019). En general, estas suburbanizaciones están situadas dentro de la planicie de inundación en zonas con cota menor a lo establecido en la ley provincial 6254 del año 1960, que regula las cotas mínimas de los partidos provinciales (Sisti *et al.*, 2017).

Al ser una cuenca elevadamente antropizada, la rápida modificación de los usos del suelo y del recurso hídrico -que en muchos casos no se gestionan debidamente-, ocasionan un alto riesgo potencial de inundaciones y del deterioro del agua (Sánchez Caro y Bianchi, 2015).

**Figura 1.** Ubicación de la cuenca del río Luján, Buenos Aires, Argentina.



**Fuente:** Elaboración del autor en base a Buzai (2002) e IDERA (n.d).

El área de estudio pertenece a la Pampa ondulada y está formada por dos unidades morfológicas, la terraza alta o meseta pampeana; y la terraza baja o llano inundable costero, compuestas por las siguientes unidades hidrogeológicas: Basamento Cristalino, Formación Olivos, Formación Paraná, Formación Puelches y/o Ituzaingó, Sedimentos Pampeanos y sedimentos Postpampeanos (Silva Busso, 2010).

Con respecto al clima, el mismo es templado húmedo, con precipitaciones medias de 951 mm y temperatura media mensual 16,6 °C (Goldberg *et al.*, 1995). Los cursos de agua que conforman la cuenca se alimentan de las lluvias locales, donde los principales son de carácter permanente, a excepción de sus cabeceras en las épocas de estiajes (Reyna, Spalletti y Brea, 2007).

## METODOLOGÍA

Para el análisis de las características morfológicas y funcionales de la cuenca del río Luján, se establecieron y estudiaron parámetros morfométricos de forma, de relieve y los relativos a la red de drenaje, mediante el uso del SIG QGIS (*Quantum GIS*) y con el apoyo en el módulo GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*). Los módulos y algoritmos de geoprocésamiento de GRASS son utilizados de manera definida dentro de QGIS. Tanto el QGIS como la herramienta GRASS son de uso libre y código abierto, bajo licencia *General Public License* (GPL) y su conjunción permite el tratamiento digital de imágenes, así como también, el análisis y la edición de datos vectoriales (Gaspari, Rodríguez y Montealegre Medina, 2019).

El material de base utilizado fue un Modelo Digital de Elevación (MDE) del noroeste de la Provincia de Buenos Aires obtenido de la plataforma EarthExplorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) disponible en la web (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Este MDE, de 30 m de resolución, corresponde a la misión espacial SRTM (*The Shuttle Radar Topography Mission*) llevada a cabo en el año 2000 por la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) y la Agencia Nacional de Inteligencia-Geoespacial (NGA) de los Estados Unidos junto con la colaboración de la agencia espacial alemana y la italiana (Farr *et al.*, 2007).

Con el software QGIS, mediante la herramienta GRASS, a través del módulo ráster, a partir del modelo digital de elevación (MDE), se delimitó la cuenca por divisoria de aguas y se digitalizó el sistema de drenaje superficial.

Se elaboró una gráfica de los perfiles transversales y longitudinales de la cuenca, que fueron determinados utilizando la herramienta Profile tool del QGIS. Para el perfil transversal se realizaron tres secciones, en donde se dividió a la cuenca en: cuenca alta, media y baja. En el caso del perfil longitudinal se trazó una línea recta lo más paralela posible a la red de drenaje principal. Con el perfil transversal se simboliza la depresión cóncava donde circula el río (fondo del cauce) y la divisoria topográfica. El perfil longitudinal representa el talweg (línea que une los puntos más bajos de la cuenca) desde la divisoria de agua hasta la desembocadura (Ordoñez, 2011; Pilán, Fernandez y Pilán, 2015).

Es elemental para la modelación hidrológica determinar el movimiento y la captación de agua de lluvia de una cuenca hidrográfica, y para esto se requiere del estudio de las propiedades morfométricas y funcionales de la misma a través de los parámetros de forma, relieve y red de drenaje (Gaspari *et al.*, 2009). Los parámetros anteriormente mencionados fueron determinados a escala de cuenca hidrográfica según los siguientes métodos:

### Parámetros de forma

- Perímetro (P) (km): es la longitud de la línea que rodea a la cuenca hidrográfica a lo largo de la divisoria de aguas (Jardí, 1985).
- Área (A) (km<sup>2</sup>): es la superficie comprendida por la divisoria de aguas (Jardí, 1985).
- Longitud del curso principal (L) (km): es la distancia que hay desde la naciente del cauce principal hasta la desembocadura mismo (Jardí, 1985).
- Longitud Axial (La) (km): es la distancia que hay desde la desembocadura al punto más alejado de cuenca, representa al eje de la misma (Jardí, 1985; Henaos, 1988).
- Ancho promedio (W) (km): se define como la relación entre el área de la cuenca (A) y la longitud axial (La) de la misma (Ecuación 1) (Jardí, 1985).

$$W = \frac{A}{L_a} \quad (\text{Ecuación 1})$$

- Factor de forma (IF): es la relación entre el ancho promedio de la cuenca (W) y su longitud axial (La) (Ecuación 2) (Magette, Shanholtz y Carr, 1976). Si este factor es cercano a uno significa que la cuenca tiene una forma redondeada, en

cambio, si el IF es bajo la cuenca posee una forma alargada (Jardí, 1985, Henaos, 1988).

$$IF = \frac{W}{La} \quad (\text{Ecuación 2})$$

- Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc): este coeficiente adimensional compara el perímetro de la cuenca (P) con el perímetro de un círculo teórico de área semejante al de la cuenca (Gravelius, 1914). Se expresa de la siguiente manera (Ecuación 3):

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

El mínimo valor de Kc que se puede obtener es 1 y cuanto más grande sea este, más alargada será la cuenca (Maderey Rascón y Jiménez Romás, 2005). Según Campos Aranda (1998) una cuenca con: Kc entre 1 y 1,25 posee una forma casi redonda a oval-redonda (Clase I); Kc entre 1,26 y 1,50, una forma oval-redonda a oval-oblonga (Clase II); y con Kc mayor a 1,51, una forma oval-oblonga a rectangular-oblonga (Clase III).

- Coeficiente de circularidad (Cc): relaciona la superficie de la cuenca (A) con el área de un círculo teórico de igual perímetro que el de la cuenca (Ecuación 4) (Miller, 1953). Este coeficiente tiene valores entre 0 y 1, en donde valores cercanos a 0 corresponden a cuencas alargadas y valores próximos a 1 a cuencas con forma redonda (Senisterra *et al.*, 2014).

$$Cc = 4\pi \left( \frac{A}{P^2} \right) \quad (\text{Ecuación 4})$$

## Parámetros de relieve

- Curva hipsométrica (CH): representa el perfil medio de la cuenca y su análisis está íntimamente ligado al comportamiento del escurrimiento en la misma (Maderey Rascón y Jiménez Romás, 2005). Es un indicador del estado de equilibrio dinámico de la cuenca (Gaspari *et al.*, 2013). Se genera mediante la colocación, en el eje de las ordenadas, de las cotas de las curvas de nivel establecidas (h) y, en el eje de las abscisas, de las alturas ajustadas a las superficies de la cuenca expresadas en porcentajes (a), contenidas entre isolíneas sucesivas, hasta alcanzar la superficie total (Maderey Rascón y Jiménez Romás, 2005).
- Curva hipsométrica adimensional (CHA): se construye de igual manera que la anterior, pero en el eje de las ordenadas se pone la cota relativa (h/H) y el eje de las abscisas se coloca el área relativa (a/A). Según Strahler (1952) representa el potencial evolutivo de la cuenca hidrográfica. Los rangos altitudinales utilizados fueron de 10 m.
- Histogramas de altitudes (Ha): se elabora a partir de los valores calculados para el trazo de la curva hipsométrica, representando las superficies en porcentajes para las altitudes consideradas, brindando una conceptualización de la distribución del terreno en cuanto a las altitudes de la cuenca (Maderey Rascón y Jiménez Romás, 2005).
- Altura máxima (Hmax) (m s. n. m.): cota más elevada dentro de la cuenca (López Bermúdez y Romero Díaz, 1987).

- Altura mínima (Hmin) (m s. n. m.): cota de menor elevación dentro de la cuenca (López Bermúdez y Romero Díaz, 1987).
- Altura media (Am) (m s. n. m.): es obtenida partir de la división de la media ponderada de las superficies planimetradas entre curvas de nivel consecutivas sobre la superficie total (López Bermúdez y Romero Díaz, 1987). Otra manera de obtenerla es a través de la curva hipsométrica, ya que esta sería la altitud equivalente al 50 % del área de la cuenca (Ordoñez, 2011)
- Altitud más frecuente (Af): es la altitud que más se repite dentro de la cuenca. Se obtiene mediante el histograma de frecuencia a través de la cota media del rango altitudinal más frecuente (Ordoñez, 2011) .
- Altitud mayor del cauce principal (Amac) (m s. n. m.): Es la cota de mayor elevación dentro del cauce principal (López Bermúdez y Romero Díaz, 1987).
- Altitud menor del cauce principal (Amec) (m s. n. m.): Es la cota de menor elevación dentro del cauce principal (López Bermúdez y Romero Díaz, 1987).
- Pendiente media de la cuenca (PM) (%): los procesos de escurrimiento superficial y subterráneo, así como la infiltración, dependen del grado de pendiente del terreno (Maderey Rascón y Jiménez Romás, 2005). Por este motivo, la pendiente es un indicador del poder erosivo de la cuenca (Ordoñez, 2011; Gaspari *et al.*, 2012). La PM se obtuvo a partir de la ecuación 5 (Ordoñez, 2011):

$$PM = 100 \left[ \left( \frac{H_{max} - H_{min}}{L \cdot 100} \right) \right] \quad (\text{Ecuación 5})$$

Finalmente, el análisis de relieve fue completado generando un mapa de pendientes según la clasificación de López Cadenas de Llano (1998), que considera: relieve muy plano, cuando la pendiente es menor al 0,5%; plano, entre 0,5 y 1%; suave, entre 1 y 3%; relieve con lomadas, entre 3 y 12%; accidentado, cuando el rango es de 12 a 20%; muy fuerte, entre 20 y 50 %; escarpado, entre 50 y 70 %; y muy escarpado, cuando es mayor a 70 %.

### Parámetros de drenaje

- Orden de la cuenca (Oc): permite clasificar los drenajes según su confluencia y relevancia en la red hídrica de la cuenca (Gaspari, Rodríguez y Montealegre Medina, 2019). Brinda un mejor entendimiento de la composición y el desarrollo del sistema de drenaje (Ordoñez, 2011). En la investigación se utilizó el método de número de orden de Strahler (1964), el cual asigna el valor 1 de orden a un curso que no tiene de tributarios, el orden 2 a la confluencia de dos cursos de orden 1 y orden 3 a la confluencia de dos cauces de orden 2, y así repetidamente.
- Longitud de drenaje (Lt) (Km): indica la suma total de las distancias recorridas de todos los cursos que conforman la cuenca, es decir, de la red de drenaje completa (Horton, 1932).
- Densidad de drenaje (D) (Km/Km<sup>2</sup>): es la relación entre la longitud de drenaje (Lt) y el área de la cuenca (A) (Horton, 1932).

$$D = \frac{Lt}{A} \quad (\text{Ecuación 6})$$

La respuesta de la cuenca ante una tormenta será más veloz cuando mayor sea su densidad de drenaje, evacuando el agua en un menor tiempo (Gaspari *et al.*,

2012). Fuentes (2004) clasifica: de densidad de drenaje baja, a una cuenca con valores el rango de 0,1 y 1,8; de densidad media, con valores entre 1,9 y 3,6; y de densidad alta, con valores entre 3,7 y 5,6. Cuencas con una densidad de drenaje menor a 0,5 Km/Km<sup>2</sup> son pobremente drenadas y las cuencas con un valor mayor a 3,5 Km/Km<sup>2</sup> son ampliamente bien drenadas (Jiménez, 1986).

- Frecuencia de drenaje (F): se define como la relación entre el número total de cauces de cualquier orden (Nc) sobre el área de la cuenca (A) (Ecuación 7) (Horton, 1945).

$$F = \frac{Nc}{A} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Es un concepto similar al de densidad de drenaje, ya que cuanto mayor sea este, mejor drenada estará la cuenca, y ayuda a complementar una mejor clasificación, debido a que cuencas muy distintas pueden tener la misma densidad de drenaje pero diferente frecuencia, o viceversa (Ordoñez, 2011).

- Coeficiente de torrencialidad (Ct): se define como el número de cursos de primer orden (Nc<sub>1</sub>) sobre el área de la cuenca (A) (Ecuación 8) (López Bermúdez y Romero Díaz, 1987).

$$Ct = \frac{Nc_1}{A} \quad \text{(Ecuación 8)}$$

Es un indicador de la erodabilidad y la aptitud de descarga de una cuenca, debido a que los cursos de primer orden son de origen erosivo, por lo que un alto valor de Ct indicaría una elevada vulnerabilidad de la cuenca ante procesos erosivos (Busnelli y Horta, 2014; Camino *et al.*, 2018).

- Pendiente media del cauce (J) (%): es la relación entre el desnivel del cauce principal (A<sub>mac</sub> - A<sub>me</sub>) y su longitud (L) (Ecuación 9) (López Bermúdez y Romero Díaz, 1987; López Cadenas de Llano y Mintegui Aguirre, 1987).

$$J = 100 \left[ \frac{(A_{mac} - A_{me})}{L \cdot 100} \right] \quad \text{(Ecuación 9)}$$

- Tiempo de concentración (T<sub>c</sub>) (h): se define como el tiempo en que tarda en trasladarse una gota de agua desde el punto más remoto hasta la desembocadura de la cuenca (Chow, Maidment y Mays, 1994). Sería el lapso entre que cesa la precipitación y el instante en que termina el escurrimiento superficial (Fuentes, 2004). El tiempo de concentración no siempre coincide con el fenómeno real, ya que puede haber lugares dentro de la cuenca en donde el agua caída demore más tiempo en llegar a la desembocadura que desde el punto más remoto. Además, el T<sub>c</sub> no es constante ya que depende de las características de la precipitación (Vélez Upegui y Botero Gutiérrez, 2010).

El tiempo de concentración se calculó utilizando los métodos de California Culvert Practice (1955) (Ecuación 10), Kirpich (1940) (Ecuación 11) y Témez (2003) (Ecuación 12).

$$Tc_c = \left[ 0.87 \left( \frac{L^3}{H} \right) \right]^{0.385} \quad \text{(Ecuación 10)}$$

$$Tc_k = 0.066 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77} \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$Tc_t = 0.3 \left( \frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde  $Tc$  es el tiempo de concentración (horas),  $H$  es la diferencia entre la cota mayor y la cota menor de la cuenca (m),  $L$  es la longitud del cauce principal (km) y  $S$  es la pendiente promedio del cauce principal (m/m).

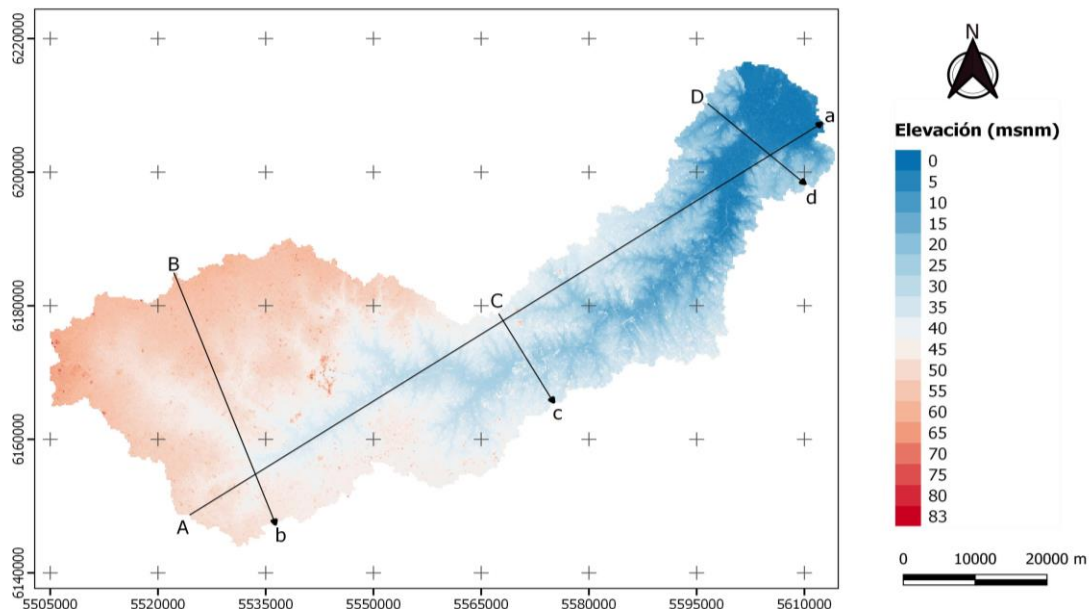
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se generó cartografía temática descriptiva para la cuenca del río Luján a partir de los parámetros morfométricos obtenidos a través del análisis con el software QGIS.

En la Figura 2, se observa el mapa del Modelo Digital de Elevación (MDE) de la cuenca en donde su altura mínima ( $H_{min}$ ) es de 0 msnm y su altura máxima ( $H_{max}$ ) es de 83 msnm. También, se representa el perfil longitudinal y los perfiles transversales para el análisis morfométrico inicial.

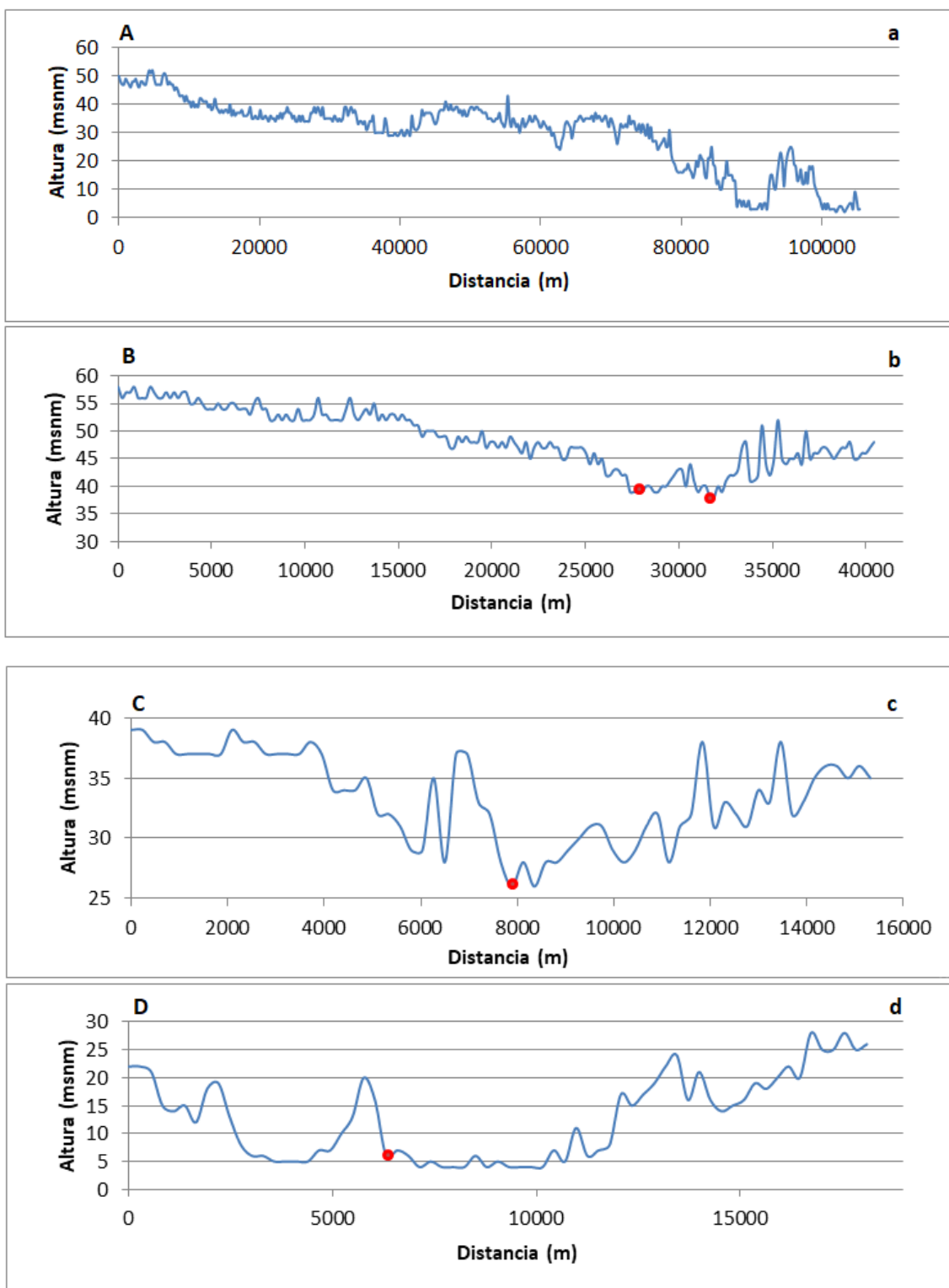
En la Figura 3, se observa la distribución altitudinal del perfil longitudinal (A-a) y de los perfiles transversales: para la cabecera (B-b), para la cuenca media (C-c) y para la parte baja (D-d). En los perfiles transversales se resaltan con puntos rojos los sitios donde circulan cursos de agua que componen la red de drenaje principal.

**Figura 2.** Perfiles topográficos en la cuenca del río Luján sobre el MDE. Perfil longitudinal (A-a) y Perfiles Transversales (B-b, C-c y D-d).



**Fuente:** Elaboración del autor.

**Figura 3.** Perfiles longitudinal y transversales en la cuenca del río Luján.



**Fuente:** Elaboración del autor.

### Parámetros de forma

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos para los parámetros de forma. Del análisis de los mismos se desprende que la cuenca es alargada, ya que tanto su IF como

su  $C_c$  son cercanos a cero y de forma oval-oblonga a rectangular-oblonga (clase III) debido a que el  $K_c$  es superior a 1,51.

Con respecto al área de la cuenca, la misma es menor que la determinada por Lanzelotti y Buzai (2015), que fue de 3778 Km<sup>2</sup>. En relación al perímetro de la cuenca, este fue menor al calculado por Gil y Principi (2019), que obtuvieron un valor de 468,6 km.

Los resultados presentados se asemejan a los obtenidos por los ingenieros del INA (Reyna, Brea y Speletti, 2007) en donde:  $A = 2790$  Km<sup>2</sup>;  $La = 108$  km;  $W = 28$  km;  $L = 135$  km. El  $k_c$  obtenido por dichos autores fue menor (1,6), pero también clasificaron a la cuenca de forma oval-oblonga a rectangular-oblonga.

**Tabla 1.** Parámetros de forma.

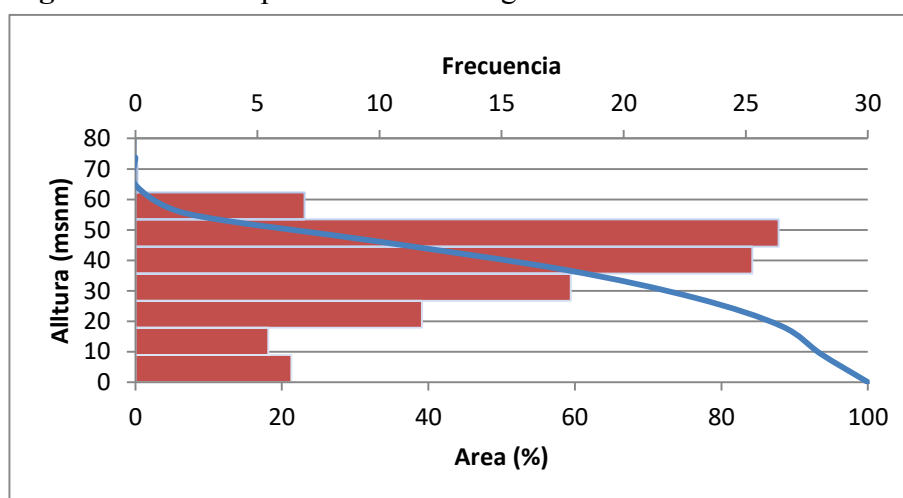
Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Perímetro	P	Km	419,78
Área	A	Km <sup>2</sup>	2938,50
Longitud axial	La	Km	108,75
Ancho promedio	W	Km	27,02
Longitud del cauce principal	L	Km	135,71
Factor de forma	IF		0,25
Coefficiente de compacidad de Gravelius	$K_c$		2,18
Coefficiente de circularidad de Miller	$C_c$		0,21

**Fuente:** Elaboración del autor.

### Parámetros de relieve

En la Figura 4 se representa la curva hipsométrica para la cuenca del río Luján junto con el histograma de frecuencias altitudes. En esta se observa que las altitudes entre los 35 y 55 metros son las predominantes en la cuenca.

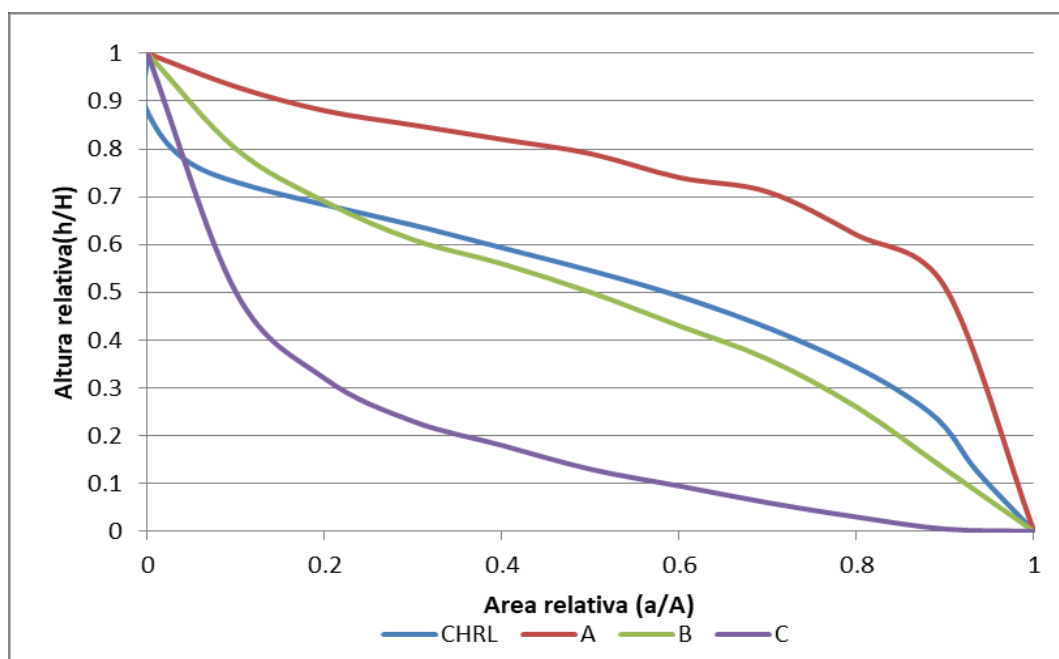
**Figura 4.** Curva Hipsométrica e Histograma de frecuencia de altitudes



**Fuente:** Elaboración del autor.

En la Figura 5 se muestra la curva hipsométrica adimensional para el río Lujan (CHRL) comparada con las tres curvas teóricas elaboradas por Strahler (1952), en donde la curva A corresponde con una cuenca con un gran potencial erosivo (Fase de juventud), la curva B es representativa de una cuenca en equilibrio (fase de madurez) y la curva C es característica de una cuenca sedimentaria (fase de vejez). Se observa que la CHRL se aproxima a la curva B, por lo que se deduce que la misma es una cuenca en equilibrio y está en fase de madurez.

**Figura 5.** Curva hipsométrica adimensional y curvas teóricas de Strahler.



**Fuente:** Elaboración del autor.

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos de los parámetros morfométricos asociados al relieve.

**Tabla 2.** Parámetros de relieve.

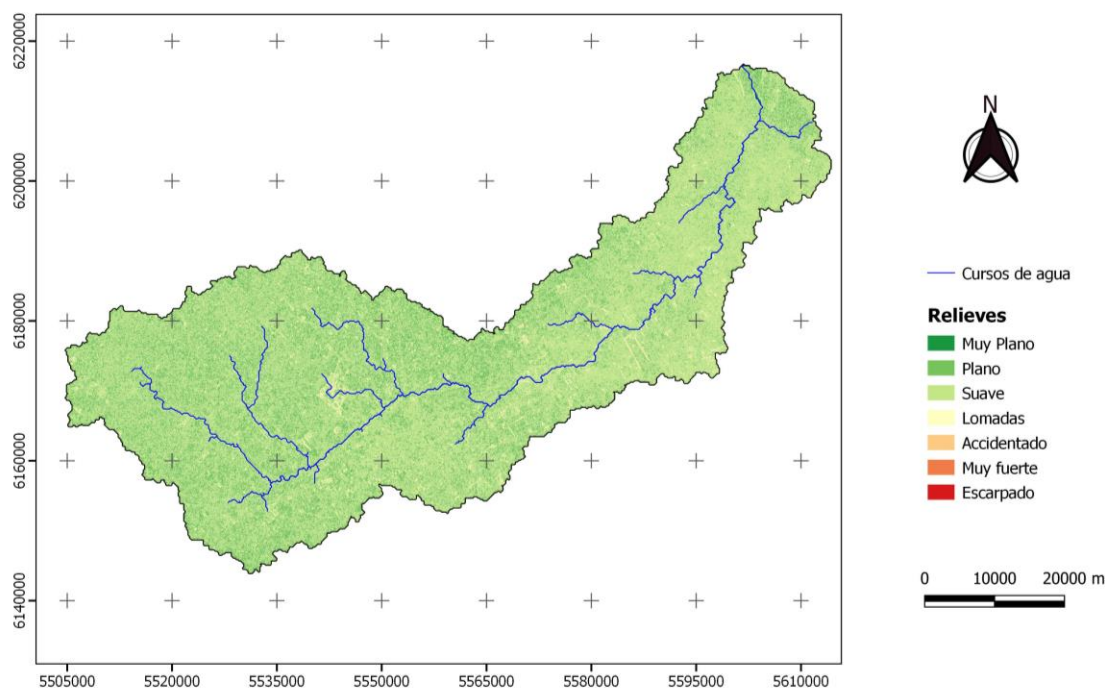
Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Altura máxima	Hmax	m s. n. m	83
Altura mínima	Hmin	m s. n. m	0
Altura media	Am	m s. n. m	37,18
Altitud más frecuente	Af	m s. n. m	50,72
Altitud mayor del cauce	Amac	m s. n. m	61,00
Altitud menor del cauce	Amec	m s. n. m	2,00
Pendiente media	PM	%	0,06

**Fuente:** Elaboración del autor.

Para culminar el análisis, se muestra en la Figura 6, el mapa de relieve de la cuenca del río Luján. Los relieves predominantes son el suave y el de lomadas abarcando un 49.8 % y un 46 %, respectivamente, de la superficie de la cuenca. El relieve muy plano

ocupa el 2,9 % y el accidentado un 1,04%. El resto de la superficie es ocupada por los relieves muy fuertes (0,17 %) y escarpados (0,06 %).

**Figura 6.** Mapa de tipos de relieve de la cuenca del río Luján



**Fuente:** Elaboración del autor.

### Parámetros de drenaje

En el mapa de orden drenaje de la cuenca del río Luján (Figura 7) se observa que la misma es de tercer orden. En la Tabla 3 se presentan los resultados de los parámetros de drenaje obtenidos.

La densidad de drenaje (D) es baja al estar en el rango de 0,1 y 1,8 Km/Km<sup>2</sup> y a su vez, al ser menor a 0,5 Km/Km<sup>2</sup>, la cuenca de estudio posee un drenaje pobre. Esta es menor a la determinada por Gil y Principi (2019) que fue de 0.5 Km/Km<sup>2</sup>

La frecuencia de drenaje (F) de la cuenca se condice con la D, ya que es muy baja (0,013), característica de cuencas mal drenadas y de textura gruesa.

El coeficiente de torrencialidad (Ct) es pequeño, lo que indica que la cuenca del río Luján posee poco potencial erosivo.

La pendiente media del cauce (J) es suave (Fuentes, 2004), por lo que el movimiento de agua hacia la desembocadura es lento (Senisterra *et al.*, 2014).

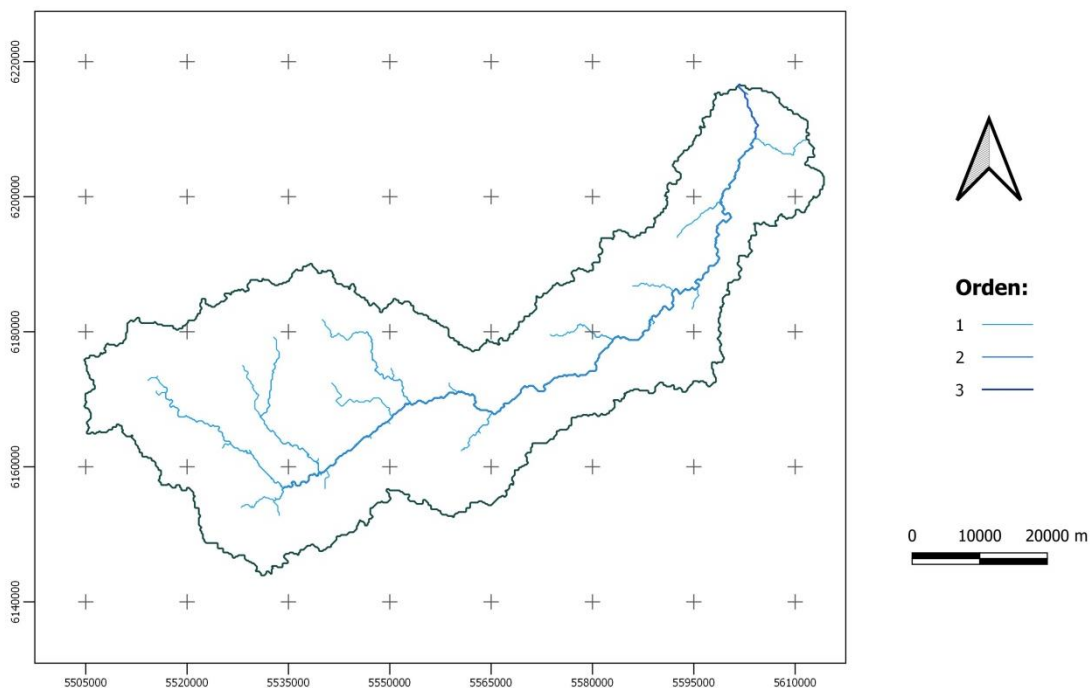
Con respecto al tiempo de concentración (Tc), los tres métodos empleados arrojaron resultados similares. El de menor valor fue el método California Culvert Practice (Tcc) (50,24 h) y el de mayor el método de Kirpich (57,23 h). El método de Témez dio un valor de 54,53 h ubicándose entre los dos anteriores. El Tc obtenido es de larga duración condicionándose con la suave pendiente media del cauce, la baja densidad y frecuencia de drenaje, y el pequeño coeficiente de torrencialidad.

**Tabla 3.** Parámetros de drenaje.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Orden de la cuenca	Oc		3
Longitud de drenaje	Lt	km	319,75
Densidad de drenaje	D	km/km <sup>2</sup>	0,11
N° total de cauces	Nc		38
Frecuencia de Drenaje	F		0,013
N° de cauces de primer orden	Nc <sub>1</sub>		24
Coefficiente de torrencialidad	Ct		0,008
Pendiente media del cauce	J	%	0,043
Tiempo de concentración (California Culvert Practice)	T <sub>cc</sub>	h	50,24
Tiempo de concentración (Kirpich)	T <sub>ck</sub>	h	57,23
Tiempo de concentración (Témez)	T <sub>ct</sub>	h	54,53

**Fuente:** Elaboración del autor.

**Figura 7.** Mapa de orden de drenaje de la cuenca del río Luján



**Fuente:** Elaboración del autor.

## CONSIDERACIONES FINALES

El empleo de un SIG de uso libre como instrumento metodológico a partir de la información brindada por un Modelo Digital de Elevación (MDE), permitió la obtención y el análisis de los parámetros morfométricos de forma, relieve y drenaje de una cuenca hidrográfica de llanura.

Las propiedades morfométricas determinadas son la base inicial para el análisis de la dinámica espacio temporal de escurrimiento superficial de la cuenca. La cuenca del río Luján posee una red de drenaje de tercer orden, con densidad y la frecuencia de drenaje bajas, lo que hace que sea pobremente drenada. A lo anterior, se le suma que la pendiente media del cauce es suave. Todas estas características hacen que el tiempo de concentración de la cuenca sea de larga duración, por lo que ante eventos de alta intensidad de precipitación es probable que se produzcan inundaciones que impacten negativamente a las urbanizaciones y actividades instaladas en las cercanías de los cursos de drenaje.

Gracias a la obtención de los parámetros de relieve y al análisis hipsométrico de la cuenca, se verificó que la misma está en equilibrio y en fase de madurez. El 96 % de la superficie de la cuenca está conformada por relieves suaves y en lomadas, por lo que el potencial erosivo de la misma es bajo. Esto se condice con el pequeño coeficiente de torrencialidad que posee la cuenca.

Considerando a la cuenca como una unidad física para la planificación y gestión del desarrollo sostenible, la integración de los parámetros morfométricos concede una contribución para la toma de decisiones sobre temas sensibles, como lo son el ordenamiento territorial y la planificación del uso del suelo para su conservación.

Durante el desarrollo de este trabajo también se determinaron unidades hidrológicas menores que servirán como base para futuras investigaciones relacionadas con la modelación hidrológica en la cuenca del río Luján.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Busnelli, J. y Horta, L. R. (2014). Morfometría de cuencas montañas y metamorfosis fluvial (Tucumán-Argentina). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 71(1), pp. 11-20.

Buzai, G. D. (2002). *Atlas digital de la cuenca del río Luján*. Editorial Universitaria. Universidad Nacional de Luján. ISBN 987-9285-16-6.

California Highways and Public Works. Division of Highways. (1955). *California culvert practice: reprint of a series of technical abstracts* (appearing in each issue from Aug. 1942 to Sept.-Oct. 1943). 2d ed. (Sacramento) State of California: Dept. of Public Works, Division of Highways.

Camino, M. A.; Bó, M. J.; Cionchi, J. L.; López de Armentia A.; Del Río, J. L.; De Marco, S. G. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista Universitaria de Geografía*, 27(1), pp. 73-97. Disponible en: <http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/pdf/reuge/v27n1/v27n1a05.pdf>.

Campos Aranda, D. F. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico*. 3ra ed. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México.

Castañé, P.M.; Sánchez Caro A.; Salibián A. (2015). Water quality of the Luján river, a lowland watercourse near the metropolitan area of Buenos Aires (Argentina). *Environ Monit Assess*. 187(10):645. doi:10.1007/s10661-015-4882-y

Chow, V. Te; Maidment, D. R. y Mays, L. W. (1994) *Hidrología aplicada*, McGraw-Hill. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.

Domínguez, F.F, A. Gómez y A.F. Gómez. (2003). *El análisis morfométrico con sistemas de información geográfica, una herramienta para el manejo de cuencas*. Instituto de investigaciones sobre los recursos naturales. Morelia, México.

FAO. (2007). *Las cuencas y la gestión del riesgo a los desastre naturales en Guatemala*. Guatemala.

Farr, T.G.; Rosen, P.A.; Caro, E., Crippen, R.; Duren, R.; Hensley S.; *et al.* (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Geophys*, 45(RG2004), p. 33. doi: 10.1029/2005RG000183.

Fernández, S.; Kochanowsky, C. y Sgroi, A. (2010). Urbanizaciones cerradas polderizadas en la cuenca baja del río Luján: Aproximaciones al dimensionamiento del fenómeno. *Geograficando*, 6(6), pp. 165-182.

Fuentes, J. D. J. (2004). Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancitaro., Instituto Nacional de Ecología. Disponible en: [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/morfometria\\_pico\\_tancitaro.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/morfometria_pico_tancitaro.pdf).

Gaspari, F. J.; Senisterra, G. E.; Delgado, M. I.; Rodríguez Vagaría, A. M. y S. Besteiro. (2009). *Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas*. Ed. Autores. La Plata, Argentina.

Gaspari, F. J.; Rodríguez Vagaría, A. M.; Senisterra, G.E.; Denegri, G. A.; Delgado, M.I.; Basteiro, S. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *Augm Domus*, 4(0), pp. 143-158.

Gaspari, F. J.; Rodríguez Vagaría, A. M.; Senisterra, G.; Delgado, M. I.; Besteiro S. (2013) *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. 1.<sup>a</sup> ed. Editorial de la Universidad de La Plata. La Plata, Argentina. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/27877>.

Gaspari, F. J.; Rodríguez Vagaría, A. M. y Montealegre Medina, A. F. (2019). *Manejo de cuencas hidrográficas. Herramientas de sistemas*. 1.<sup>a</sup> ed. Editorial de la Universidad de La Plata. La Plata, Argentina.

Gil, V. y Principi, N. (2019). Cuenca del río Luján: hidografía y morfometría. En: Buzai, G. D.; Lanzelotti, S. L.; Principi, N.; Montes Galbán, E.; Humacata, L.; Acuña Suarez, G. y Baxendale, C. (2019). *Atlas de Geografía Humana de la cuenca del río Luján*. Instituto de Investigaciones Geográficas (INIGEO). Luján, Argentina. Pp. 44-45.

Goldberg, S.; Cirera, I.; Parella, M.; Benitez, A.; Bulos, L. y Troncoso, A. 1995. Caracterización climática y agroclimática de la cuenca del Río Luján, *Anales de I Jornadas sobre la Cuenca del Río Luján*. Universidad Nacional de Luján, Luján, Argentina.

Gravelius, H. (1914). Flubkunde. Gosche'sche Verlagshan dlung Belin, In: Zavoianu, I., 1985. Morphometry of drainage Basins. *Elsevier*. Amsterdam.

Gregory, J. K. y Walling, E. D. (1985). *Drainage Basin Analysis*. Victoria: The Bath Press.

Guichón, M.; Angelini, B.; Benítez, A.; Serafini M.; Cassini, M. (1999). Caracterización ambiental de la cuenca del río Luján (Argentina) aplicando dos metodologías de procesamiento de información satelitaria. *Revista de Teledetección*, 11(January), pp. 1-7.

GWA-UNDP (2003). Guía de recursos: Transversalización del enfoque de género en la gestión del agua. GWA-UNDP. pp. 1-155.

Hass, C. A. (1995). Inundaciones en áreas urbanas e impacto social. El caso de la ciudad de Luján, Bueno Aires, Argentina. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, pp. 393-399.

Henaos, J. E. (1988). *Introducción al manejo de cuencas hidrográficas*. 1.<sup>a</sup> ed. Universidad Santo Tomás, Centro de enseñanza desescolarizada, Bogotá, Colombia.

Horton, R. E. (1932). Drainage-basin characteristics. *Transactions American Geophysical Union*. Washington, USA: 13: 350-361

Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*, n° 56, pp. 275-370.

Humacata, L. (2019). Urbanizaciones cerradas. En: Buzai, G. D.; Lanzelotti, S. L.; Principi, N.; Montes Galbán, E.; Humacata, L.; Acuña Suarez, G. y Baxendale, C. (2019). *Atlas de Geografía Humana de la cuenca del río Luján*. Instituto de Investigaciones Geográficas (INIGEO). Luján, Argentina. Pp. 58-59.

Infraestructura de Datos Espaciales de la República Argentina (IDERA). (n.d). Geoservicios. Disponible en: [https://www.idera.gob.ar/index.php?option=com\\_content&view=article&id=335:geoservicios&catid=33:services&Itemid=302](https://www.idera.gob.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=335:geoservicios&catid=33:services&Itemid=302)

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2012). *Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010: Censo del Bicentenario*. 1.<sup>a</sup> Ed. INDEC. Buenos Aires, Argentina.

Jardí, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, XIX, pp. 41-68.

Jiménez, H. (1986). *Hidrología básica I*. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería. 2.<sup>a</sup> edición. Santiago de Cali. 235 p.

Jouravlev, A. (2004). *Recursos Naturales e Infraestructura, Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI*. CEPAL. Santiago de Chile.

Kirpich, Z. P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering*, 10 (6), 362.

Lanzelotti, S. y Buzai, G. D. (2015). *Delimitación de la cuenca del río Luján, Provincia de Buenos Aires, Argentina*. Informe técnico N° 1 Proyecto PICT 2014-1388. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/303703478\\_Delimitacion\\_de\\_la\\_cuenca\\_del\\_rio\\_Lujan\\_Provincia\\_de\\_Buenos\\_Aires\\_Argentina](https://www.researchgate.net/publication/303703478_Delimitacion_de_la_cuenca_del_rio_Lujan_Provincia_de_Buenos_Aires_Argentina)

López Bermúdez, F. y Romero Díaz, M. (1987). Morfometría de redes fluviales: revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al alto Guadalquivir. *Papeles de geografía*, (12), pp. 47-62.

López Cadenas de Llano F y Mintegui Aguirre JA. 1987. *Hidrología de superficie*. Editorial Salazar. Escuela de Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid, España: 222 p

López Cadenas de Llano F. 1998. *Restauración Hidrológica Forestal de cuencas y Control de la Erosión*. Ingeniería Medioambiental, TRAGSATEC, Ministerio de Medio Ambiente. Editorial Mundi Prensa, Madrid, España: 945 p

Lux Cardona, B. (2016) «Conceptos Básicos de Cuencas», Manual de Manejo de Cuencas, Módulo I. Disponible en: [http://www.colsan.edu.mx/investigacion/aguaysociedad/proyectogro2/Biblioteca/Bibliografia/M%F3dulo%204/manual\\_manejo\\_de\\_cuencas\\_modulo\\_1%5B1%5D.pdf](http://www.colsan.edu.mx/investigacion/aguaysociedad/proyectogro2/Biblioteca/Bibliografia/M%F3dulo%204/manual_manejo_de_cuencas_modulo_1%5B1%5D.pdf).

Maderey Rascón, L. E. y Jiménez Romás, R. (2005). *Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico*. 1.ª ed. Editado. Universidad Nacional Autónoma de México Instituto de Geografía. Ciudad de México, México.

Magette W. L.; Shanholtz, V. O. y Carr, J.C. (1976). Estimating selected parameters for the Kentucky Watershed Model from watershed characteristics. *Water Resources Research*, 12: 472–476

Meza Rodríguez, D. y Martínez Rivera, L. M. (2010). Análisis morfométrico de las cuencas de la red MEX-LTER: Estudio de diez cuencas a nivel nacional en México. Reporte Técnico. Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Centro Universitario de la Costa Sur. Universidad de Guadalajara La Red Mexicana de Investigación Ecológica a Largo Plazo. Guadalajara.

Miller, V. C. (1953). A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Office of Naval Research, Geography Branch, Project NR 389-042. Technical Report, 3. Columbia University.

Ordoñez Gálvez JJ. (2011). *¿Qué Es Cuenca Hidrológica?*. 1.ª ed. Sociedad Geográfica de Lima. Lima. Disponible en: [http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm\\_Files/Publicaciones/Varios/Cuenca\\_hidrologica.pdf](http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Cuenca_hidrologica.pdf)

Pilán, M. del C.; Fernández, H. R. y Pilán, M. T. (2015). *Glosario De Ingeniería Hidráulica Y Limnología : Nuevos Avances*. F.Fy L.-UNT, F. C. N.-UNT, F. C. E. y T. - UNSE Facultad de Filosofía y Letras.

Ramakrishna, B. (1997). *Estrategia de Extensión para el Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas: Conceptos y Experiencias*. FAO. San José, IICA/ GTZ.

Reyna, J., Spalletti, P. y Brea, J. D. (2007). Diagnóstico del funcionamiento hidrológico-hidráulico de la cuenca del río Luján – provincia de Buenos Aires, Argentina. Delimitación de las zonas bajo riesgo hídrico. Instituto Nacional de Agua (INA).

Rodríguez Barrientos, F. (2006). Cuencas hidrográficas, descentralización y desarrollo regional participativo. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*, VII(12), pp. 113-125.

Salas Aguilar, V.M.; Pinedo Álvarez C.; Viramontes Olivas O.A.; Báez González, A.D. y R.M. Quintana Martínez. (2011). Morfometría de la cuenca del río Nazas-Rodeo en Durango, México, aplicando tecnología geoespacial. *Tecnociencia*. Vol. V, No. 1. 34 – 42pp.

Sánchez Caro, A. (2010). Calidad del agua del río Luján. En *Información ambiental de la cuenca del río Luján*. C. Carballo (ed.); UNLu; Prometeo Libros, 123-131 pp.

Sánchez Caro, A. y Bianchi, F. J. (2015). Modelación hidrológica a paso diario de la cuenca del río Luján, Provincia de Buenos Aires. Instituto Nacional de Agua (INA).

Senisterra, G. E.; Rodríguez Vagaría, A. M.; Gaspari F. J. y Mazzucchelli, M. G. (2014). Aspectos morfométricos de la cuenca alta del arroyo Napaleofú, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Geografica Venezolana*, 55(2), pp. 287-303.

Silva Busso, A. (2010). Geología, hidrología e hidrogeología en la cuenca del río Luján. En *Información ambiental de la cuenca del río Luján*. C. Carballo (ed.); UNLu; Prometeo Libros. Luján, Argentina. pp. 97-122.

Sisti, J.; Feo, F. D., Hernández, E.; Villamayor V. J. (2017). Trabajo Final de carrera Agrimensura : Análisis de los Cambios en la Cuenca Media y Baja del Río Luján. *ENIA*, (2), pp. 1-10.

Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area- altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin of the Geological Society of America*, 63: 1117-1142.

Strahler, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. Section 4-II of *Handbooks of Applied Hydrology*. Mc Graw-Hill Book Co, New York, USA.

Témez, J. R. (2003). Facetas del cálculo hidrometeorológico y estadístico de máximos caudales. *Obras Púúblicas*. N°3.430, 47-51.

Vélez Upegui, J. J. y Botero Gutiérrez, A. (2010). Estimación del tiempo concentración y de rezago en la cuenca experimental urbana de La Quebrada San Luis, Manizales. *Dyna*, 165, pp. 58-71.

© Pedro Riva, Aníbal Sánchez Caro y Fernanda Julia Gaspari.

Riva, P.; Sánchez Caro, A.; Gaspari, F.J. (2021). Caracterización morfométrica de la Cuenca del río Luján. ***Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GeoSIG)***. 13 (21) Sección I:1-20.

On-line: [www.revistageosig.wixsite.com/geosig](http://www.revistageosig.wixsite.com/geosig)

Recibido: 18 de abril de 2021

Aceptado: 6 de agosto de 2021