

## Aspectos morfológicos de la cuenca del arroyo Nagel (Misiones, Argentina).

Albarracín F. S.<sup>a,\*</sup>, Alvarenga F.<sup>a</sup>, Sanclemet. E.<sup>b</sup>, Pauluzek. A.<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Estación Experimental Agropecuaria Cerro Azul, Centro Regional Misiones. INTA.  
Ruta Nacional 14 km 1085. Cerro Azul, Misiones. Argentina.

<sup>b</sup> Municipalidad de Leandro N. Alem Misiones Argentina.

e-mail: albarracin.silvia@inta.gob.ar

---

### Resumen

Las características físicas de una cuenca hidrográfica son necesarias para estimar el potencial erosivo e hidrológico por causas naturales y antropogénicas; para ello se definen índices morfométricos que permiten explicar la forma, el relieve y la red de drenaje. El objetivo del trabajo fue analizar e interpretar los parámetros morfométricos de la cuenca del arroyo Nagel, en el departamento Leandro N. Alem (Misiones). Los parámetros calculados se determinaron sobre datos georreferenciados procesados con SIG, generando en gabinete, una base de datos digital morfométrica de la zona de estudio. La cuenca tiene un área 55,2 km<sup>2</sup> con dirección principal en el eje NE-SO, con un rango altitudinal entre los 355 y 129 msnm. El análisis de forma mostró que es oval oblonga a rectangular, que propicia una evacuación rápida de la escorrentía que se genera en la misma. Presenta una red de drenaje bien estructurada. Estos resultados forman parte del procedimiento inicial para el diagnóstico de la dinámica del escurrimiento superficial en la cuenca, debido a que los mismos se corresponden con las formas de relieve terrestre, siendo el agua y su energía un factor modelador. Este trabajo constituye la etapa inicial para generar un modelo conceptual sobre el funcionamiento del sistema hidrológico del arroyo Nagel.

**Palabras Clave** – Cuenca hidrográfica, SIG, Parámetros morfométricos.

---

### Abstract

The physical features of a river basin are necessary to estimate the erosive and hydrological potential due to natural and anthropogenic causes. For this purpose, morphometric indices that explain the shape, relief and drainage network are defined. The aim of this work was to analyze and interpret the morphometric parameters of the Nagel stream basin, located in Leandro N. Alem department (Misiones). The calculated parameters were determined from georeferenced data processed with GIS, generating a morphometric digital database of the study area by cabinet work. The basin covers an area of 55,2 km<sup>2</sup> with a main direction along the NE-SO axis, with an altitudinal range between 129 and 355 meters above sea level. The shape analysis of the basin showed that it is oblong to rectangular oval, which facilitates a rapid evacuation of their runoff. It has a well-structured drainage network. These results belongs to the initial procedure for the diagnosis of the dynamics of surface runoff in the basin. In fact, they correspond to the landforms, where both water and its energy are the modeling factors. This work constitutes the initial stage to generate a conceptual model on the operation of the Nagel stream hydrological system.

**Keywords** – Watershed, GIS, Morphometric parameters.

---

## 1. Introducción

Las cuencas hidrográficas se consideran como unidad básica para la planificación y gestión de los recursos hídricos. Por ello es necesario conocer sus límites y sus características morfológicas,

ambientales y de la sociedad que las integra (Senisterra et al., 2014; Jumbo, 2015). Durante las últimas décadas las acciones humanas han alterado drásticamente muchas de las funciones ecológicas de los sistemas hídricos (Horacio, 2015), y los arroyos en Misiones, no son ajenos a esta realidad donde parte de sus cuencas están afectadas por presiones agrícolas, ganaderas, y actividades que afectan directamente e indirectamente a estas (Albarracín, 2015; Casas et al., 2015). Si a esto se suma la inexistencia del ordenamiento territorial a nivel de cuencas, el resultado es la ocupación progresiva del espacio ribereño producto del incremento de suelos con usos urbanos y agrícolas, y la pérdida progresiva de los bosques en las cabeceras de cuencas (Albarracín et al., 2018). Por otra parte, un análisis morfométrico constituye uno de los aspectos temáticos más importantes de la ecología de los ríos y permite considerar variables de forma, relieve y red de drenaje, que revelan el comportamiento morfodinámico e hidrológico de un sistema fluvial (Salas Aguilar et al., 2011; Cruz et al., 2015). Las características morfométricas de una cuenca hidrográfica constituyen elementos de gran importancia para la evaluación del comportamiento hidrológico y el desarrollo de planes dirigidos al desarrollo sostenible y la gestión integral del recursos hídrico (Villón, 2011; Bentes et al., 2012).

Paralelamente, la aplicación de la tecnología espacial a través de la computación, permite de forma coherente y sistematizada evaluar el funcionamiento del sistema hidrológico, y a su vez estimar, procesar, analizar y almacenar datos descriptivos del sistema (Politi et al., 2016). El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la Teledetección para el análisis de cuencas, subcuencas y microcuencas, y en particular, el análisis de superficies a través de Modelos Digitales de Elevación (MDE) como Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), destaca por su alta resolución espacial y disponibilidad global, y representa una alternativa para estudios morfométricos a bajo costo y en menor tiempo (Salas-Aguilar et al., 2011; Jumbo, 2015; Cruz et al., 2015).

El presente trabajo abordará el análisis de los distintos parámetros de una caracterización biofísica, productiva y morfológica, las cuales están dentro de un marco de planificación física destinada a la conservación y buen uso de los recursos naturales. Este análisis se realizará con herramientas técnicas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

## **2. Materiales y métodos**

### *2.1. Área de estudio*

La cuenca del arroyo Nagel se localiza en el departamento de Leandro N. Alem (Misiones, Argentina), entre los 27° 30' 14" y 27° 37' 14" latitud sur, y 55° 18' 38" y 55° 18' 07" longitud oeste, con superficie de 55,2km<sup>2</sup> y longitud de 250km de cauce principal aproximadamente (Figura 1).

El clima, según la clasificación de Köppen, es de tipo Cfa macrotérmico, constantemente húmedo y subtropical, por lo que tiene un balance hídrico favorable, si se considera todo el año. La precipitación media anual es de 1900mm, siendo los meses más lluviosos de marzo a julio, y el trimestre más seco de octubre a febrero. La temperatura media anual es de 23,5 °C (Olinuck et al. 2017).

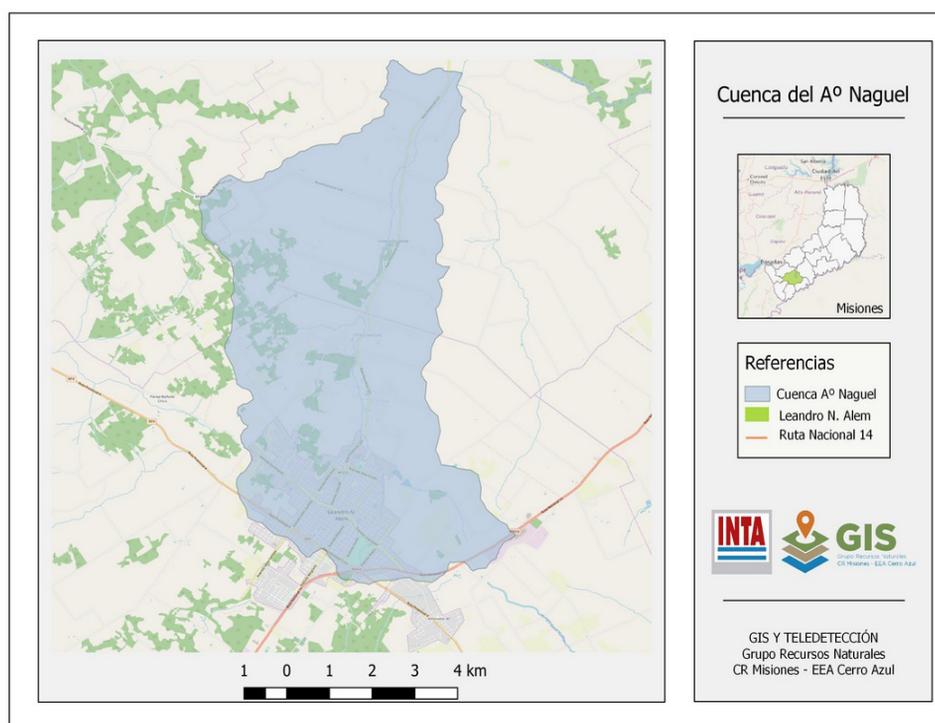


Fig. 1. Ubicación de la cuenca del arroyo Nagel (Leandro N Alem, Misiones)  
Fuente: EEA Cerro Azul, INTA.

Para el análisis de las características morfológicas y funcionales de la cuenca del arroyo Nagel, se establecieron y analizaron parámetros morfométricos de forma, relieve y los relativos a la red de drenaje, con apoyo en el Sistemas de Información Geográfica (SIG) ArcGis 10.1 y planillas de cálculo. Complementariamente se realizó un análisis general topográfico para integrar el relieve con el trazado del sistema de drenaje, fundamental en el análisis de la hidrografía, el cual es especial en el estudio de las aguas superficiales.

El material utilizado fueron las cartas topográficas del Instituto Geográfico Nacional (IGN), a escala 1:50.000, Leandro N. Alem. El procesamiento de la carta topográfica generó el modelo digital de elevación (MDE) que permitió delimitar la cuenca por divisoria de aguas y digitalizar en pantalla el sistema de drenaje superficial. También se obtuvieron los datos de base para la definición de los parámetros geométricos de forma, de relieve y de red de drenaje. La morfometría se cuantificó por medio de índices, los cuales relacionan la forma del relieve con la respuesta hidrológica de la cuenca.

## 2.2. Parámetros morfométricos

### 1) Parámetros de forma

La forma de una cuenca influye sobre los escurrimientos y sobre la marcha del hidrograma resultante de una precipitación dada. Los índices empleados para representar estas características son:

- Superficie de la cuenca ( $\text{km}^2$ ): esta medición se obtiene a partir de la cartografía temática digitalizada a través del software.

- Perímetro (P) (km): Es la medición de la línea envolvente de la cuenca hidrográfica, por la divisoria de aguas topográficas.

- Longitud axial y ancho promedio (km): Es la longitud definida con la sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca.

- Longitud del cauce principal ( $L_n$ ) (km): Es la longitud definida con la sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca

- Factor de forma (IF): Este factor adimensional indica cómo se regula la concentración del escurrimiento superficial. Este factor fue propuesto por Horton (1945) donde relaciona el área de la cuenca y la longitud de la misma. Se expresa con la fórmula:

$$F = A / L_2 \quad (1)$$

donde: A es área de la cuenca;  $L_2$  es longitud de la cuenca.

Manifiesta la tendencia de la cuenca hacia las crecidas. Cuando IF es similar a 1, representa una cuenca de forma redondeada. La cuenca con IF bajo, se caracteriza por ser una cuenca alargada, que con un colector de mayor longitud que la totalidad de los tributarios, estará sujeta a crecientes de menor magnitud. Una cuenca de forma triangular, con dos vértices en las cabeceras, afluentes de similar longitud y sincronismo en la llegada, provocará crecidas más significativas.

- Coeficiente de compacidad de Gravelius ( $K_c$ ): se expresa como una relación entre P (perímetro (km)) y A (superficie ( $\text{km}^2$ )), por medio de la siguiente fórmula:

$$K = 0,282 \times (P_c) \quad (2)$$

donde:  $K_c$  es coeficiente de compacidad; A es área de la cuenca;  $P_c$  es perímetro de la cuenca.

El  $K_c$  está relacionado estrechamente con el tiempo de concentración, que es el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana de la cuenca hasta la salida. En este momento ocurre la máxima concentración de agua, puesto que están llegando las gotas de lluvia de todos los puntos de la cuenca. Según el valor que tome este coeficiente, la cuenca tendrá diferentes formas (Tabla 1).

Tabla 1. Formas de la cuenca de acuerdo al Índice de compacidad

| Clase de forma | Índice de compacidad (Kc) | Forma de la cuenca                     |
|----------------|---------------------------|--|
| Clase I        | 1.0 a 1.25                | Casi redonda a oval - redonda          |
| Clase II       | 1.26 a 1.50               | Oval – redonda a oval oblonga          |
| Clase III      | 1.51 a más de 2           | Oval – oblonga a rectangular - oblonga |

- Coeficiente de rugosidad (Ra): Es la relación existente entre el desnivel de la cuenca (H) y su densidad de drenaje (Dd). Es adimensional (Gaspari et al., 2009). Patton (1988) menciona que cuencas muy disectadas con bajo relieve presentan un Ra similar a cuencas moderadamente disectadas y con un alto relieve.

### 2) Parámetros de relieve

Para determinar la pendiente media (PM) de la cuenca se utilizó el mapa topográfico, con aplicación del SIG, como se expresa en la siguiente fórmula:

$$PM = 100 [(H \times L) / A] \quad (3)$$

donde: *PM* es pendiente media (en %); *H* es distancia vertical entre curvas medidas (equidistancia) (km); *L* es longitud total de las curvas de nivel (km); *A* es superficie (km<sup>2</sup>).

### 3) Parámetro de red de drenaje

- Clasificación de la red de drenaje según Strahler. Se utilizó el esquema de ordenación o de clasificación de Horton-Strahler, el cual expresa que las redes de drenaje pueden ser modeladas o representadas por un conjunto de nodos conectados unos a otros por segmentos, de manera que cada nodo tiene solo una ruta hacia la salida (Strahler, 1952).

- Densidad de drenaje (Dd): La densidad de drenaje fue establecida por Horton (1945), es definida para una cuenca como la longitud media de curso por unidad de superficie, calculándose mediante la expresión:

$$D = \sum L / A \quad (4)$$

donde:  $D$  es densidad de drenaje ( $\text{km}^{-1}$ );  $\sum L$  es suma de las longitudes de los cursos que se integran en la cuenca ( $\text{km}$ );  $A$  es superficie de la cuenca ( $\text{km}^2$ ).

- Pendiente media del cauce principal: con este parámetro, se obtiene la pendiente media del río y su potencial para erosionar. Se expresa con “ $i$ ” y se calcula con la fórmula:

$$i = \frac{H_{\text{máx}} - H_{\text{mín}}}{L_c} \times 100 \text{ inv tg} \quad (5)$$

donde:  $i$  es pendiente media del cauce principal (%);  $H_{\text{max}}$  es altura máxima del afluente principal;  $H_{\text{min}}$  es altura mínima del afluente principal;  $L_c$  es longitud del cauce.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Parámetros de forma

El área de la cuenca del arroyo Nagel se estimó en  $55,2 \text{ km}^2$ . El perímetro de la cuenca resultó ser  $40,2 \text{ km}$ . El resto de factores que se relacionan con los parámetros morfométricos se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2. Valores de los parámetros de forma de la cuenca del arroyo Nagel**

| Parámetro de forma        | Unidad        | Valor |
|---------------------------|---------------|-------|
| Área (A)                  | $\text{km}^2$ | 55,2  |
| Perímetro                 | km            | 40,2  |
| Coefficiente de Gravelius | Unidad        | 1,55  |
| Factor de forma           | Unidad        | 0,26  |
| Longitud axial            | km            | 14,66 |
| Ancho promedio            | km            | 6,06  |
| Coefficiente rugosidad    | adimensional  | 4,088 |

Del análisis de los resultados presentados de la Tabla 2 se establece que la cuenca presenta una forma alargada de acuerdo al factor de forma, que coincide con el coeficiente de Gravelius que indica que la cuenca tiene una forma oval - oblonga a rectangular oblonga, que presupone que es poco susceptible a las crecidas, cuyas aguas escurren en general por un solo curso principal.

El coeficiente de rugosidad ( $R_a$ ) establece que la cuenca presenta una baja relación entre el desnivel y la densidad de drenaje, generando una alta rugosidad. Los cursos de agua de mayor envergadura favorecidos por el factor topográfico y el coeficiente de rugosidad de la cabecera podrían favorecer la actividad torrencial durante las tormentas de alta intensidad en la cabecera. En la parte baja de la cuenca la rugosidad disminuye, favoreciendo la disminución de la torrencialidad de los cursos.

### 3.2. Parámetros de relieve

La pendiente media de la cuenca fue de 12,10%, que representa un suelo accidentado que evidentemente favorece parcialmente la escorrentía (Senciales y Ferre, 2001). Sin embargo, habría que resaltar la presencia de cobertura boscosa que ocupa la parte alta y media de la cuenca favoreciendo la infiltración y evaporación gracias a la intercepción de la lluvia por la vegetación y en consecuencia la disminución en la velocidad del agua que escurre superficialmente.

### 3.3 Parámetros relativos a la red de drenaje

El arroyo principal de la cuenca es de orden 3, siendo el curso de agua cuyo cauce alcanza la máxima magnitud dentro de área que ocupa la cuenca. La densidad de drenaje natural es relativamente baja, en relación a la superficie de la cuenca (Tabla 3). En coincidencia con lo expresado por Strahler (1957), la presencia de materiales geológicos duros y resistentes en la cabecera originó una baja Dd, y a su vez, en la zona de derrame, la disposición de materiales permeables, como las arenas y gravas, originaron bajas densidades de drenaje, favorecidas por la infiltración. Además se identifica la relación con la distribución de la cubierta vegetal, la topografía y el tipo de suelo. Doffo y González Bonorino (2005) sugieren que cuanto más elongadas son las cuencas, mayor será la tendencia a una alta rugosidad.

**Tabla 3. Valores de los parámetros relativos a la red de drenaje de la cuenca del arroyo Nagel**

| Parámetro de forma                 | Unidad              | Valor |
|------------------------------------|---------------------|-------|
| Clasificación de la red de drenaje | Unidad              | 3     |
| Densidad de drenaje                | Km. km <sup>2</sup> | 1,07  |
| Pendiente media del cauce          | %                   | 0,85  |
| Alejamiento medio                  | %                   | 19,84 |

## 4. Conclusiones

Los parámetros morfométricos calculados se determinaron sobre datos básicos procesados con SIG, para confeccionar en gabinete la base de datos digital morfológica de la cuenca, formando parte del procedimiento inicial para el diagnóstico de la dinámica espacio temporal del escurrimiento superficial en la cuenca del arroyo Nagel. Asimismo, dada la escasa información acerca del área de la cuenca, se considera que este trabajo conforma un aporte significativo sentando las bases para futuras investigaciones.

## Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por INTA a través del Proyecto Territorial Zona Centro (MSNES 1242102).

## Referencias

- [1] Albarracín, S (2015). Propuesta metodológica para la planificación territorial en la cuenca rural del arroyo El Saltito Chico, Misiones. Tesis de maestría en Gestión Ambiental. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral.
- [2] Albarracín S., Alvarenga, F., Sosa, A., Iwasita, B., Barbaro, S. (2018). Aspectos morfométricos de la cuenca del arroyo Itacaruaré, Misiones, Argentina. Jornadas de Investigación Desarrollo Tecnológico Extensión y Vinculación - FI – UNaM – 01 (2018) 1-8.
- [3] Bentes, D., M. L. Vidotto, R. Bertinatto, G. R. de Souza y E. Pires (2012). “Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio São José, Cascavel, PR”. Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias, Guarapuava- PR, 5: 7-18.
- [4] Doffo N y G González Bonorino (2005). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del arroyo Las Lajas, Córdoba: Un análisis estadístico. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 60 (1): 16- 22
- [5] Casas, R y Albarracín G (2011). El deterioro del suelo y del Medio Ambiente en la Argentina. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Fundación Ciencia, Educación y Cultura FECIC, 2015.
- [6] Cruz, B., F. J. Gaspari, A. M. Rodríguez, F. M. Carrillo y J. Téllez. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México”. Investigación y Ciencia, 23(2015): 26-34.
- [7] Gaspari FJ, Senisterra GE, Delgado MI, Rodríguez Vagaría A y Besteiro S. (2009). Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. Editorial Autores, 1 ed, La Plata, Argentina: 321p
- [8] Horacio, J. (2015). Medicina fluvial. Un nuevo paradigma en la conservación y restauración de ríos bajo el enfoque de la geomorfología”. Ed. Jolube, Jaca (España)..
- [9] Horton R.E (1945). Drainage-basin characteristics. Transactions American Geophysical Union. Washington, USA: 13: 350-361.
- [10] Jumbo, F. A. (2015). Delimitación automática de microcuencas utilizando datos SRTM de la NASA. Enfoque UTE, 6: 81-97.
- [11] Olinuck, J. (2017). El clima de la localidad de Leandro N Alem (1968-2017). INTA, Estación Experimental Cerro Azul, Informe técnico N° 95.
- [12] Patton P. (1998). Drainage basin morphometry and floods. P 51-64 En: Baker V, Kochel C & P Patton (eds) Flood geomorphology. John Wiley & Sons.
- [13] Politi, E., S. John, S. M. Rowan, E. J. Cutler. (2016). Assessing the utility of geospatial technologies to investigate environmental change within lake systems. Science of the Total Environment. 543(2016): 791–806.
- [14] Salas-Aguilar, V. M., C. Pinedo-Álvarez, O. A. Viramontes-Olivas, D. Báez-González y R. M. Quintana-Martínez. “Morfometría de la cuenca del río Nazas Rodeo en Durango, México, aplicando tecnología geoespacial”. Tecnociencia Chichuahua, 5: 34-42.
- [15] Senciales, J.M. y E. Ferre. (2001). Análisis morfométrico de la cuenca del río Benamargosa (provincia de Málaga) en López B. F., C. Conesa y M. A. Romero: Estudios de Geomorfología en España. Actas de la II Reunión Nacional de Geomorfología, Murcia, S.E.G. 365-375 p.

- [16] Senisterra, G. E., A. M. Rodríguez, F. J. Gaspari., M.G. Mazzucchelli (2014). Aspectos morfométricos de la cuenca alta del arroyo Napaleofú, provincia de Buenos Aires-Argentina". Revista Geográfica Venezolana, 55: 287-303.
- [17] Villón, M (2011). Hidrología. 3ra ed. Lima-Perú.