

# Análisis morfométrico aplicado a la caracterización de redes fluviales para la gestión de peligro de incendios forestales (Sierra de la Ventana, Argentina)

*María Laura Michalijos  
Paula Andrea Zapperi*

Dpto. de Geografía y Turismo (UNS)

**Resumen.** El área de estudio corresponde al sector Sur de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires, comprende la cuenca del arroyo de La Ventana, cuenca alta del Arroyo Napostá Grande y Noroeste de la cuenca alta del río Sauce Grande. El objetivo del trabajo es caracterizar morfométricamente las cuencas para determinar su disponibilidad hídrica para la gestión de incendios forestales. Se propone el cálculo del Área, la Longitud total de cauces y la aplicación de la razón de Bifurcación, de Circularidad y Densidad de drenaje. Para la realización de los índices y la jerarquización de los sistemas fluviales se utilizó el software ArcGIS 9.1<sup>®</sup>. Se digitalizaron los cursos permanentes y semipermanentes sobre la base de las cartas topográficas Sierra de la Ventana, Tornquist y Peralta del Instituto Geográfico Militar (I.G.M.), escala 1:50.000. Asimismo, se utilizó la información topográfica para delimitar las cuencas. Resultados preliminares demuestran que en el área la disponibilidad hídrica tanto para el manejo de incendios como también para disminuir su ocurrencia es escasa. La dinámica fluvial es propensa a la generación de crecidas con bajos tiempo de concentración, lo que contribuye a una rápida evacuación del agua.

**Palabras clave:** *redes fluviales, índices morfométricos, peligro de incendios forestales.*

### **Morphometric analysis applied to the characterization of fluvial systems for managing wildfire hazards (Sierra de la Ventana, Argentina).**

**Abstract.** The study area is located in the southern area of the Ventania System, Buenos Aires province, Argentina. It includes La Ventana stream's basin, the upper basin of the Napostá Grande Stream and the Northwest of the upper basin of the Sauce Grande River. The study aims to morphometrically characterize the basins to determine water availability for forest fire management. The basin areas, the total length of channels and the density of drainage as well as bifurcation and circularity ratios were calculated. The achievement of indices and the hierarchy of stream systems were made through the ArcGIS software 9.1®. Permanent and semi-permanent courses were identified from topographic maps Sierra de la Ventana, Tornquist Peralta published by the Instituto Geográfico Militar (IGM) scale 1: 50,000. Also, the topographic information was used to delineate the basin as the watershed was plotted according to the ridge of the mountain ranges. Preliminary results show that in the area water availability for fire management is low. Hydric dynamic helps the generation of flash floods, contributing to a quick water evacuation management.

**Keywords:** *river networks, morphometric indices, wildfire hazard.*

### **Análise morfométrica aplicada à caracterização de redes fluviais para a gestão de perigo de incêndios florestais (Sierra de la Ventana, Argentina).**

**Resumo.** A área de estudo corresponde ao setor sul das Sierras Australes da província de Buenos Aires, que compreende a bacia do córrego La Ventana, a alta bacia do Arroyo Napostá Grande e o noroeste da alta bacia do rio Sauce Grande. O objetivo do trabalho é caracterizar as bacias para determinar a disponibilidade de água para a gestão de incêndios florestais. É proposto o cálculo da área, o comprimento total de canais, a aplicação da razão de bifurcação e de circularidade e densidade de drenagem. Foi utilizado o software ArcGIS 9.1® para a realização dos índices e o *ranking* destes sistemas. Os cursos permanentes e semi-permanentes foram digitalizados com base nos mapas topográficos Sierra de la Ventana, Tornquist e Peralta do Instituto Geográfico Militar (I.G.M.) na escala 1:50.000. Além disso, a informação topográfica foi utilizada para delinear as bacias hidrográficas. Os resultados preliminares mostram que a disponibilidade de água, tanto para a área de gerenciamento de fogo, bem como para diminuir a sua ocorrência é rara. A dinâmica fluvial é propensa para a geração de inundação com pouco tempo de concentração, contribuindo para o escoamento rápido.

**Palavras-chave:** *redes fluviais, índices morfométricos, perigo de incêndio florestal.*

## 1. Introducción

La caracterización del comportamiento y dinámica hídrica de una cuenca, aplicada al estudio del peligro y manejo de incendios forestales, se torna difícil cuando no existe información meteorológica e hidrométrica disponible o actualizada para su correlación con factores que influyen en la ocurrencia de este tipo de fenómenos. Por ello es importante el análisis de variables e índices morfométricos que reflejan o destacan las interacciones entre los distintos componentes de la cuenca (Gil, 2009).

La morfometría fluvial se refiere a la medida de las propiedades geométricas de la superficie sólida de un sistema de erosión fluvial (Strahler, 1964).

El análisis morfométrico en el estudio de cuencas y sus redes de drenaje proporciona información tanto geológica como hidrológica de relevancia que puede ser aplicada posteriormente al estudio de la dinámica y procesos fluviales. La morfometría supone la cuantificación del medio físico. La forma y dinámica de las redes fluviales son el resultado de las características ambientales del área y constituyen sistemas de transferencia de energía y materia (Romero Díaz y López Bermúdez, 1987).

En cuencas y subcuencas del área se han realizado estudios morfométricos aplicados principalmente al peligro de crecidas. Gil (2009) caracterizó morfométricamente a las sub-cuencas del río Sauce Grande y Gil *et al.* (2009) utilizaron dichos índices para analizar la influencia de la litología, estructura y morfología en la dinámica fluvial de cuatro sub-cuencas del Sistema de Ventania. Recientemente Scavone *et al.* (2014) focalizaron el análisis sobre el arroyo de La Ventana.

La utilidad del análisis morfométrico para el estudio del peligro de incendios forestales radica en que la disponibilidad de agua en los cauces afecta por un lado a la vegetación, dado que incide en la humedad del combustible, aumentando o disminuyendo el peligro de ignición (probabilidad de que se inicie un incendio), y a la cobertura vegetal al afectar al peligro de propagación. Por otra parte el comportamiento hídrico en las distintas cuencas del área es determinante en la generación de reservorios de aguas naturales para sofocar incendios. Es por ello que el objetivo del presente trabajo es caracterizar morfométricamente las cuencas para determinar su disponibilidad hídrica para la gestión de incendios forestales.

## 2. Caracterización del área de estudio

El área de estudio se localiza en el Suroeste bonaerense, abarca la cuenca del arroyo de La Ventana, cuenca alta del arroyo Napostá Grande y Noroeste de la cuenca alta del río Sauce Grande, todas con desagüe atlántico (Fig. 1).

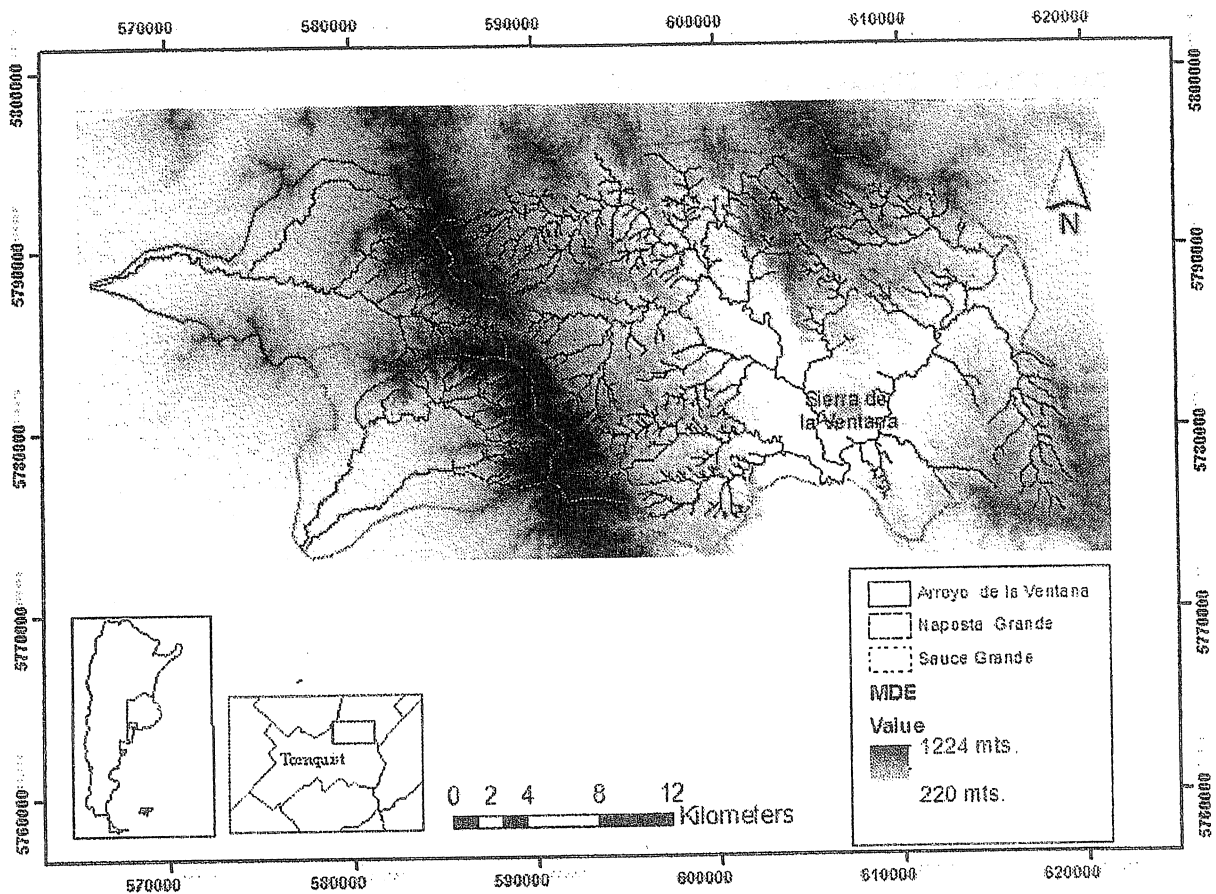


Figura 1: Localización del área de estudio.  
 Fuente: Elaboración propia, 2014.

El relieve está determinado por el sistema de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires, conjunto de elevaciones bien definidas, en sentido noroeste-sureste, de 175 km de longitud y una anchura máxima de cincuenta km. Las sierras alcanzan las máximas alturas de la provincia, su nivel de cumbre oscila entre 900 y 1.000 m, el Cerro Tres Picos es el punto más alto con 1.247 m. (Harrington, 1947). Conforman un sistema serrano (denominado localmente Sistema de Ventania) que está compuesto por cordones sub-paralelos cuya diferencia altitudinal es marcada. Estos cordones están separados por la depresión que forman los valles de la cuenca del río Sauce Grande hacia el Sur y la cuenca del río Sauce Corto hacia el Norte.

Desde el punto de vista geológico, en la figura 2 se observa la disposición de tres diferentes grupos estratigráficos: Pillahuincó, Ventana y Curamalal (Sellés Martínez, 2001; Gil, 2009). En el sector occidental, se encuentran afloramientos aislados de granitos, riolitas, ignimbritas que constituyen el basamento cristalino de la cubierta sedimentaria paleozoica (Fm. Sauce Chico). Hacia el Este se encuentra en primer término el Grupo Curamalal, que está dividido en cuatro formaciones que Harrington (1947) denominó La Lola, Mascota, Trocadero e Hinojo. Las

mismas están compuestas por un secuencia silicoclástica, predominantemente arenosa de ambiente de plataforma comenzando con un conglomerado en su base (Andreis y López Gamundi, 1985; Massabie *et al.*, 2005). Luego el Grupo Ventana compuesto por cuarcitas de características semejantes a las del grupo anterior y dividido en cuatro formaciones: Bravard, Napostá, Providencia y Lolén. El Grupo Pillahuincó comprende la sucesión sedimentaria más joven afectada por plegamiento con presencia de diamictitas, conglomerados, pelitas y areniscas. Se compone de la Formación Sauce Grande, Piedra Azul, Bonete y las Tunas y sobreyace al Grupo Ventana en relación pseudoconcordante (Andreis y Japas, 1996 y Andreis *et al.*, 1996). Depósitos cenozoicos completan la columna estratigráfica. La estructura y la orogenia actual están conformadas por unidades terciarias y cuaternarias. Se destacan formas de erosión (terrazas) y depósitos de piedemonte. A esta unidad siguen areniscas del Plioceno, depósitos de rodados, sedimentos areno-arcillosos de pampeano asociados a niveles de tobas, arcillas y sedimentos arcillo-arenosos del postpampeano a Holoceno y finalmente los suelos modernos y el transporte fluvial actual (Sélles Martínez, 2001).

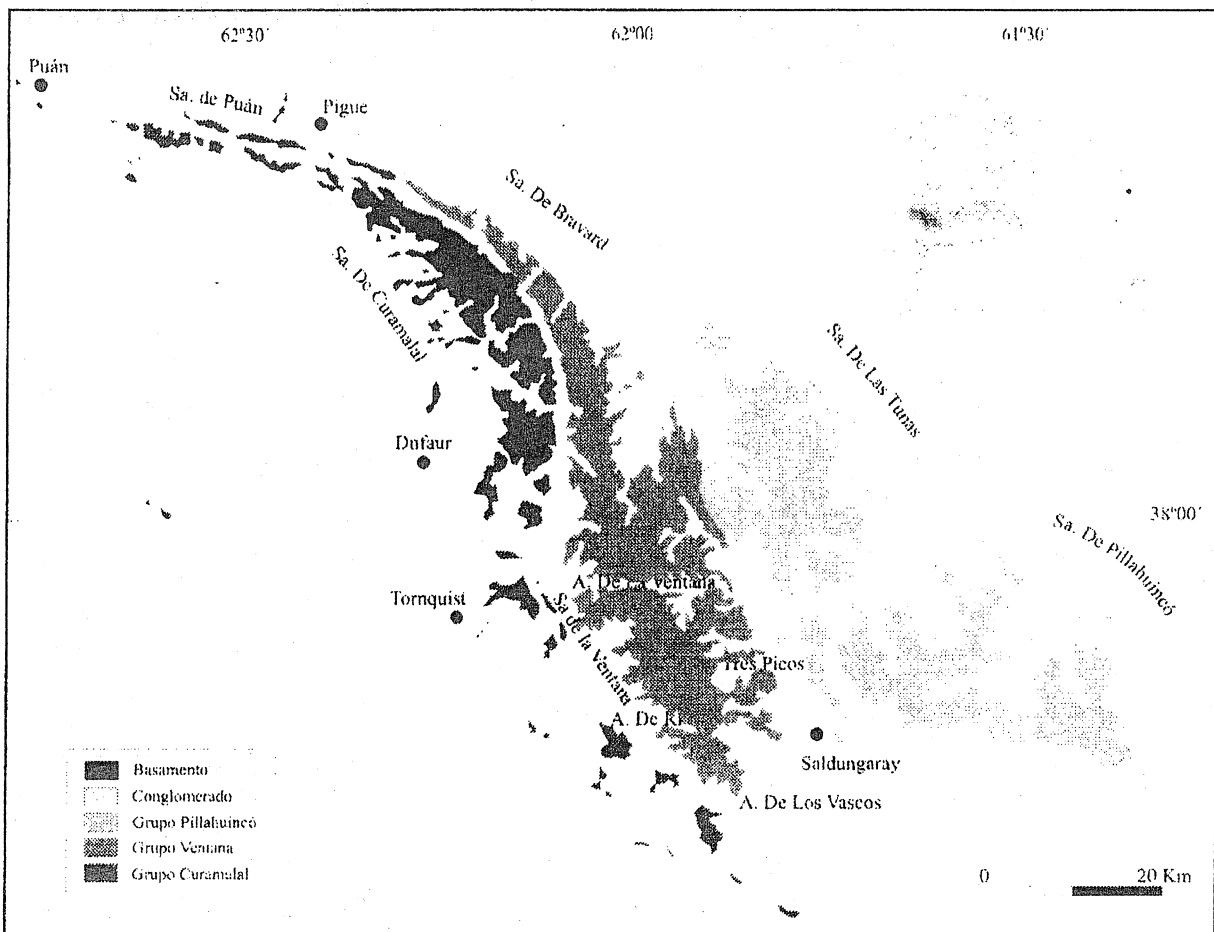


Figura 2. Mapa Geológico del Sistema de Ventania.

Fuente: Elaboración propia, 2014, sobre la base de Sellés Martínez (2001).

El clima de la región, según la clasificación de Thornthwaite (1948), es subhúmedo seco (C1). La temperatura media en el verano es de 20° C, con máximas absolutas de 35° C a 40° C. En invierno la temperatura media es de 8° C y la mínima absoluta puede descender hasta los -10° C, con heladas y nevadas ocasionales. (Gil y Campo, 2000). Con respecto a la distribución anual de las precipitaciones, los valores máximos se presentan en marzo y octubre (Campo de Ferreras *et al.*, 2004).

En el ámbito serrano, la precipitación media anual es de 610 mm, presenta una gran variabilidad interanual que comprende valores máximos anuales de 1056 mm y mínimos de 396 mm. Las lluvias se concentran en los meses de octubre a marzo, con el 63,7 % del total anual. Sin embargo en marzo y en abril se registran los valores mensuales más altos. (283 mm y 204 mm, respectivamente). El período de bajas precipitaciones corresponde a los meses de junio, julio y agosto con un valor acumulado de 14 % del total. (Gil y Campo, 2000).

Cabe destacar que la topografía serrana determina variaciones locales (o mesoclimas) del clima regional, en función de la altitud, la exposición y la pendiente (Kristensen y Frangi, 1995). Existe un gradiente altitudinal de temperatura, la cual disminuye 6.9°C/1.000 m. (Lizzi *et al.*, 2007).

La vegetación está representada por una estepa gramínea con predominio del género *Stipa* (Flechillas y Paja Vizcachera), *Piptochaetium*, *Festuca* y *Briza* (Barrera y Frangi, 1997) que están siendo invadidos por especies introducidas de rápida propagación y elevada combustibilidad (cardos, coníferas, eucaliptos y retamas), las que compiten por el nicho ecológico con las nativas.

En el área de estudio anualmente se registran incendios de diferente magnitud. La principal causa de ellos es accidental (cuarenta y dos por ciento) y luego natural ocasionados por caída de rayos durante las tormentas (treinta y tres por ciento) (Michalijos y Uboldi, 2013). La temporada de incendios se desarrolla durante el verano (setenta por ciento de los eventos) cuando las temperaturas son mayores y los vientos altamente deshidratantes y mayores en frecuencia e intensidad. En esta estación también desarrolla el período de mayor afluencia turística por ser una de las zonas de mayor calidad ambiental de la provincia de Buenos Aires. En 2013 recibió a 107.528 turistas según la oficina de turismo de Tornquist.

### 2.1. Cuenca del Arroyo Ventana

Se localiza en las laderas occidentales del cordón Ventana, está formada por los arroyos de La Ventana y San Juan (Fig. 3). Su curso principal corre en sentido Este-Oeste y es el afluente más caudaloso del Sauce Chico.

Uno de los afluentes semipermanentes de La Ventana atraviesa el poblado de Villa Serrana La Gruta, que en épocas de lluvias intensas provoca eventos de avenidas, dejando incommunicada un sector de la villa.

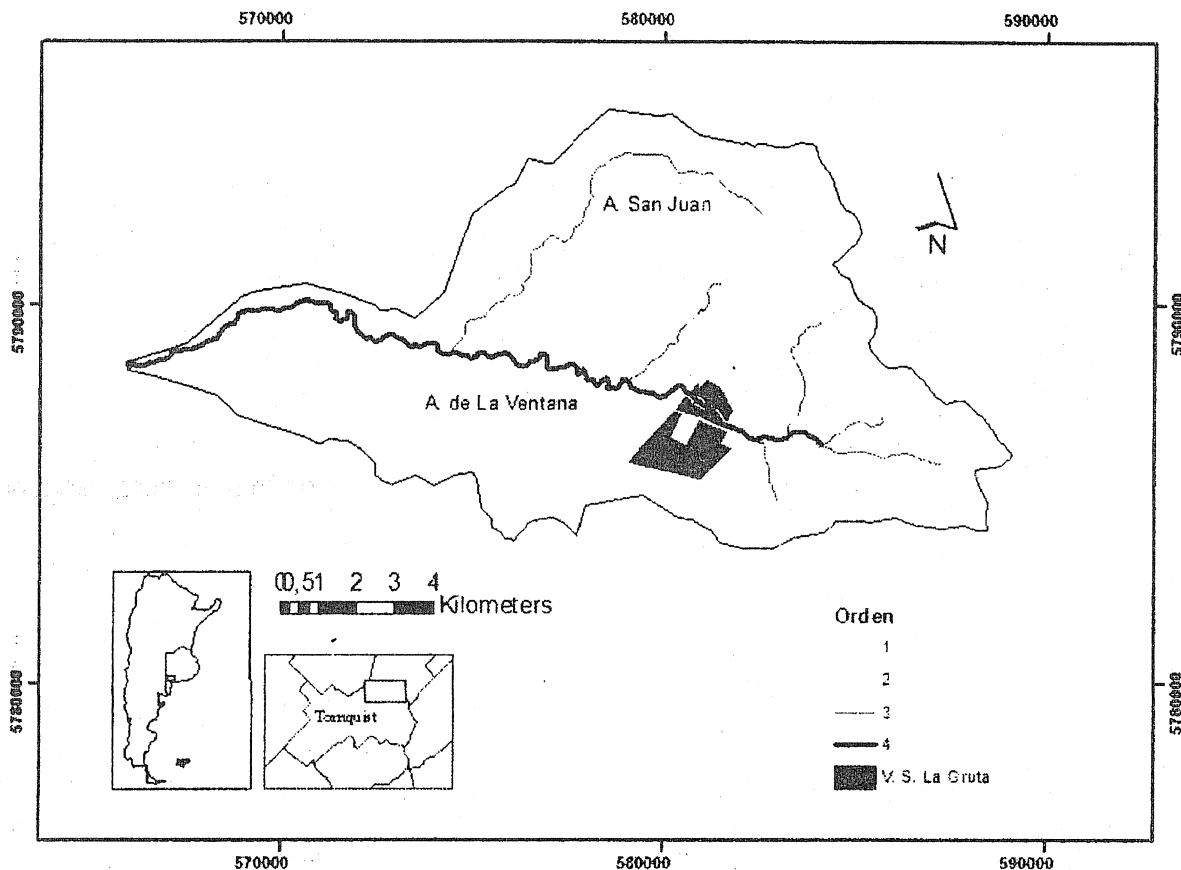


Figura 3: Cuenca del arroyo de La Ventana  
Fuente: Elaboración propia, 2014.

## 2.2. Cuenca alta del arroyo Napostá Grande

El arroyo Napostá Grande (Fig. 4) nace en las proximidades de los cerros Tres Picos y Napostá, drena por la vertiente Oeste del cordón Ventana. El drenaje del sector analizado está compuesto por cursos permanentes y semipermanentes de densidad moderada, bien integrado. Las fuertes pendientes y mayor densidad de drenaje en el sector serrano, favorecen el escurrimiento superficial de carácter torrencial, por lo que el área es considerada generadora de avenidas (Carrica y Lexow, 2004).

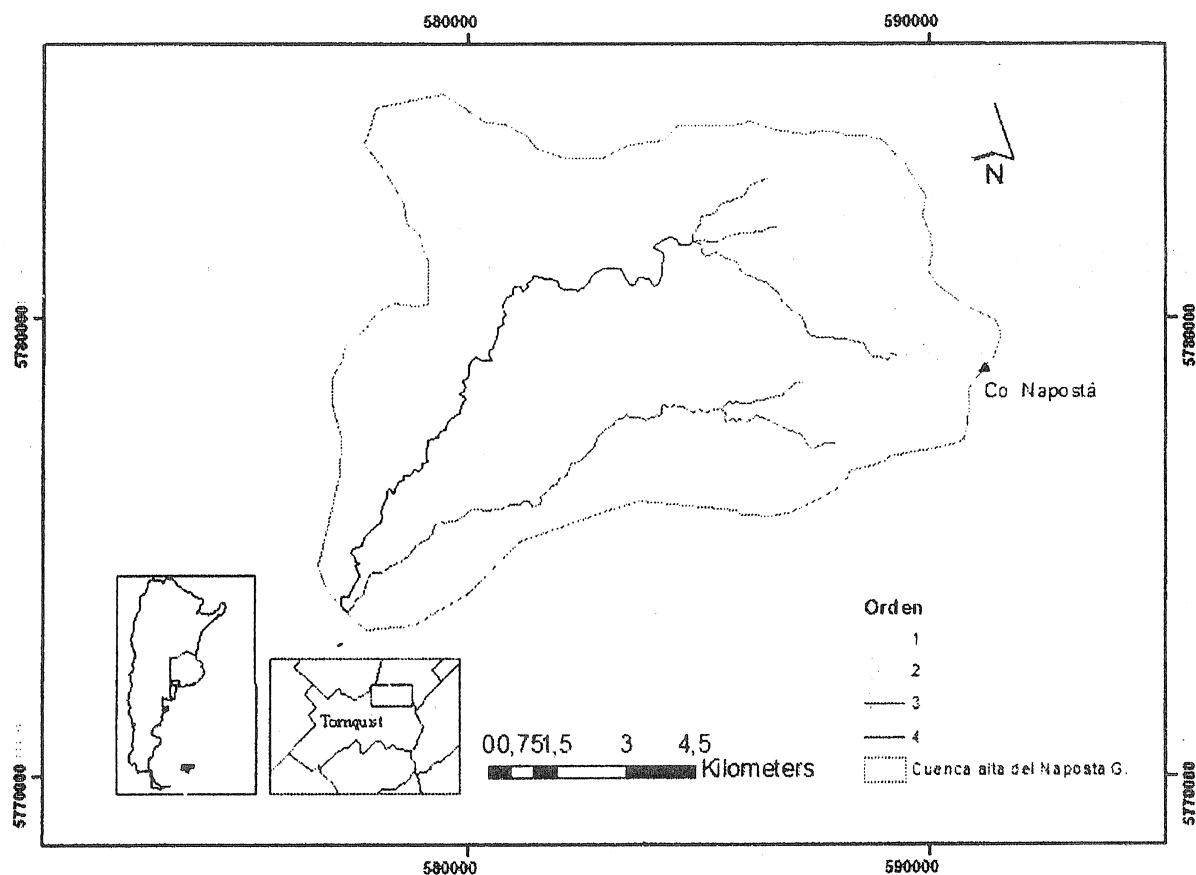


Figura 4: Cuenca alta del arroyo Napostá Grande  
Fuente: Elaboración propia, 2014.

### 2.3. Noroeste de la cuenca alta del arroyo Sauce Grande

La cuenca del río Sauce Grande (Fig. 5) es la más importante de todas las que se originan en el sistema de Ventania. El río Sauce Grande drena las vertientes Este del cordón Ventania y en su trayecto recibe varios afluentes del cordón de las Tunas por su margen izquierda y del cordón Ventania por la margen derecha.

En su recorrido se pueden encontrar distintos tipos de usos de suelo, se destacan Villa Ventana y Sierra de la Ventana con uso urbano, campos de cultivo y estancias con uso rural y el Parque Provincial Ernesto Tornquist (PPET), área protegida.



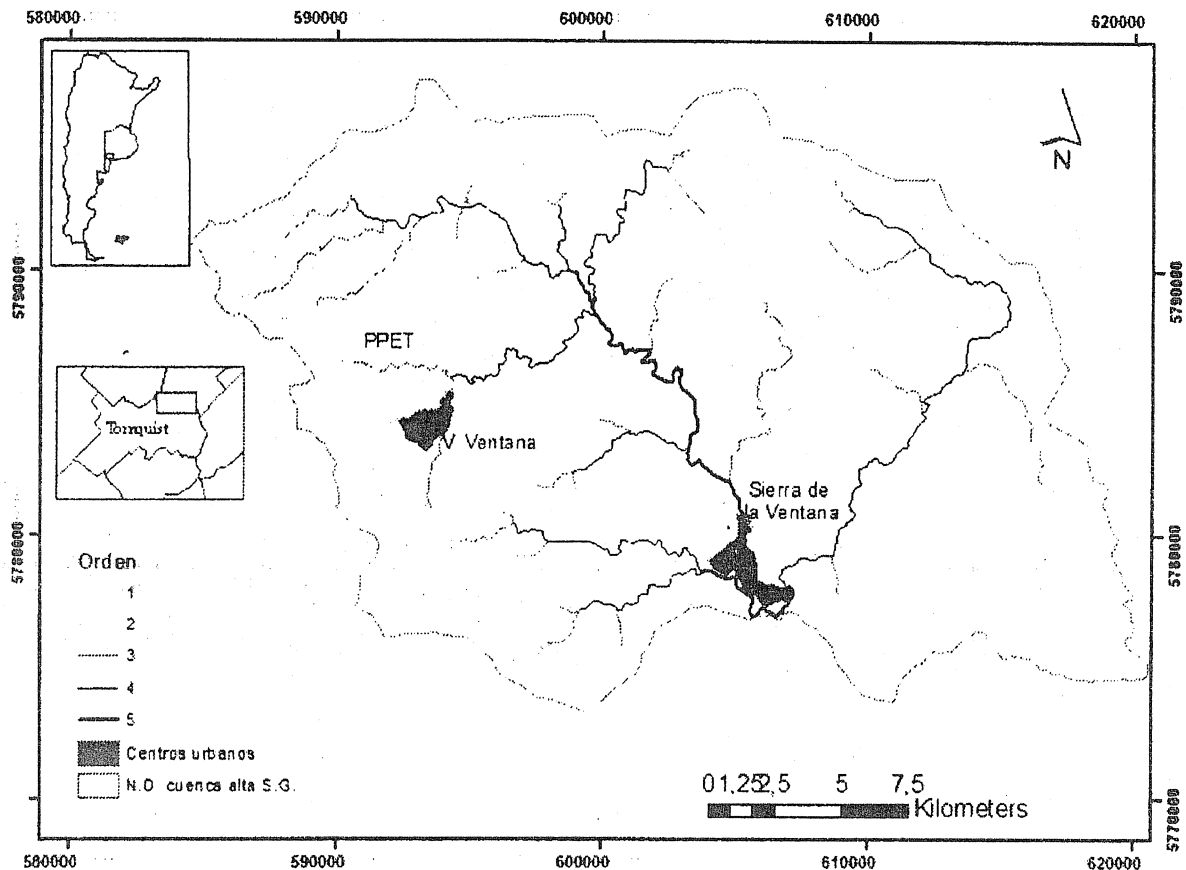


Figura 5: Noroeste de la cuenca alta del río Sauce Grande  
Fuente: Elaboración propia, 2014.

### 3. Materiales y metodología

En la presente investigación se estudian las redes de drenaje y cauces teniendo en cuenta el estudio cuantitativo. Este enfoque analiza las redes previa ordenación de cauces, permitiendo, de esta manera, fijar un criterio objetivo para la posterior comparación entre redes de drenaje y aportar mayor información en las relaciones formas - procesos hidrológicos y erosivos (Romero Díaz y López Bermúdez, 1987).

Las características morfométricas que se pueden analizar son múltiples y variadas y van a depender de los objetivos de cada investigación. En el presente trabajo se toma la clasificación propuesta por Romero Díaz y López Bermúdez (1987) que las han agrupado teniendo en cuenta el relieve, topología, longitud de los cauces, geometría de la cuenca e intensidad fluvial.

Los autores realizaron un análisis estadístico de tipo factorial para determinar los índices y parámetros más significativos en el estudio de las cuencas fluviales y cuáles de ellos pueden ser desestimados evitando así la elección arbitraria. En la tabla 1 se resaltan aquellos índices y parámetros que fueron seleccionados para analizar la incidencia de la dinámica fluvial en el

peligro de incendio forestal. En el parámetro de intensidad fluvial se calculó el coeficiente de almacenamiento, que si bien no es recomendado por los autores aporta información de interés a los efectos del presente trabajo.

Tabla 1: Índices morfométricos propuestos por Romero Díaz y López Bermúdez (1987)

Variables	Parámetros/Índices	Símbolo
Relieve	<i>Desnivel absoluto</i>	<i>d</i>
	<i>Razón de relieve</i>	<i>Rr</i>
Topológicas	<i>Número total de cauces</i>	<i>Nt</i>
	<i>Razón de bifurcación</i>	<i>Rb</i>
Longitud de cauces	<i>Longitud media</i>	<i>Lm</i>
	<i>Longitud total de los cauces</i>	<i>Lt</i>
Forma y tamaño de las cuencas	<i>Área</i>	<i>A</i>
	<i>Razón de circularidad</i>	<i>Rc</i>
Intensidad fluvial	<i>Densidad de drenaje</i>	<i>Dd</i>
	<i>Coeficiente de almacenamiento</i>	<i>Ca</i>

Fuente: Elaboración propia, 2014, sobre la base de Romero Díaz y López Bermúdez (1987).

Para llevar a cabo los índices en primer término se realiza la jerarquización de órdenes de cauces, medición de sus longitudes, perímetro, longitud y superficies. Para establecer la jerarquización se utilizó el método propuesto por Strahler (1964). Se consideran cursos de primer orden a aquellos que no poseen tributarios, es decir aquellos que inician la red de drenaje, de segundo orden los formados por la confluencia de dos cursos de primer orden, de tercero los formados por la confluencia de dos de orden dos y así sucesivamente.

Para la realización de los índices como también la jerarquización de los sistemas fluviales se utilizó el software ArcGIS 9.1<sup>®</sup>. Se digitalizaron los cursos permanentes y semipermanentes sobre la base de las cartas topográficas Sierra de la Ventana, Tornquist y Peralta del Instituto Geográfico Militar (I.G.M.), escala 1:50.000. Asimismo, se utilizó la información topográfica para delimitar las cuencas pues la divisoria de agua fue trazada en función de la línea de crestas de los cordones serranos. Por otra parte, para el cálculo de áreas y longitudes de los cauces se utilizaron las aplicaciones que ofrece el software ArcGIS 9.1<sup>®</sup>.

Para la selección de los índices y parámetros a realizar se consideraron las abordajes metodológicos de Gil (2009), dado que ha realizado estudios morfométricos en el área. Se tomó como base la propuesta de Romero Díaz y López Bermúdez (1987) quienes realizaron

una revisión y agrupamiento de estos parámetros según relieve, topología, longitud, geometría e intensidad fluvial

Los índices y parámetros analizados fueron los siguientes:

- *Variables topológicas:*

Razón de bifurcación (Rb): Es la relación del número de cauces del orden inmediatamente superior. Aporta información sobre el tamaño, forma y estructura de la cuenca.

Valores cercanos a dos indican cuencas con escaso relieve, entre tres y cinco cuencas de montaña sin influencia de las estructuras geológicas en la forma del drenaje. Además valores bajos corresponden a formas redondeadas con rápida concentración de escorrentías. Valores superiores a cinco y principalmente a diez revelan fuerte condicionamiento estructural dando lugar a cuencas estrechas y alargadas. (Romero Díaz y López Bermúdez, 1987).

La disminución de la relación de bifurcación implica un aumento del orden de la cuenca. Cuando los valores son homogéneos a lo largo de la cuenca significa que está bien jerarquizada.

$$Rb = Nu / (Nu + 1)$$

donde Nu = número de cauces de orden u

- *Variables de longitud de cauces*

Longitud total de los cauces (Lt): su importancia radica en su utilidad como base para el cálculo de otras variables.

- *Variables de forma y tamaño de las cuencas*

Área (A): Es el parámetro de medición directa más importante debido a que cuantifica el tamaño de la cuenca, está relacionada con una gran cantidad de variables por lo que se utiliza en la elaboración de varios índices. Además existe una relación directa entre el tamaño de la cuenca, el orden del cauce principal, el caudal a transportar y la longitud de los cursos.

El área actúa como factor de compensación, en cuencas pequeñas las crecientes suelen ser instantáneas y de respuesta inmediata (Gil, 2009). Chow *et al.* (1994) proponen una clasificación de cuencas en base a su tamaño: cuencas pequeñas (áreas < 250 km<sup>2</sup>), medianas (entre 250 y 2.500 km<sup>2</sup>) y grandes (>2.500 km<sup>2</sup>).

Razón de circularidad (Rc): Es la relación entre el área de la cuenca y el área de un círculo de igual perímetro de la cuenca (Miller, 1953 en Romero Díaz y López Bermúdez, 1987).

Los valores oscilan entre cero y uno, la unidad corresponde a cuencas circulares. Cuando el resultado se aproxima a uno la cuenca tendrá una forma más circular y por lo tanto más compacta. Cuanto más redonda más tarda en llegar la onda de crecida a la desembocadura, pero más acusado será el caudal punta (Gonzalez de Matauco, 2004).

$$Rc = 4 \Pi A / P^2$$

donde A = área P = perímetro

- *Variables de intensidad fluvial:*

Densidad de drenaje (Dd): Es la variable más importante de este grupo y del conjunto analizado, representa una característica topográfica de significación fundamental, de fácil comprensión simplicidad y utilidad (Romero Díaz y López Bermúdez, 1987).

Es una propiedad fundamental de una cuenca, controla la eficiencia del drenaje y señala el estado erosivo. Está fuertemente relacionada con la precipitación en magnitud e intensidad, con la litología, con las características del suelo y la cubierta vegetal.

La densidad del drenaje afecta al tipo de escorrentía. En las zonas de alta densidad la escorrentía recorre la superficie rápidamente rebajando el tiempo de concentración e incrementando el pico de crecida al haber menor infiltración. Valores bajos están asociados a zonas de gran masividad litológica, a materiales muy permeables y con alta infiltración (Strahler, 1964).

Su cálculo consiste en dividir la longitud total de todas las corrientes por la superficie considerada, representando así una medida de longitud por unidad de superficie y en consecuencia constituye una medida de disección.

$$Dd = \Sigma L / S$$

donde L= longitud del cauce S= superficie

Coefficiente de almacenamiento (Ca): Permite evaluar la capacidad de almacenamiento de la cuenca durante las crecidas de caudal por lluvias. Cuando los valores se acercan a la unidad el agua precipitada se almacena en forma subterránea, disminuyendo el riesgo de erosión hídrica y la disponibilidad de agua para escorrentía superficial. A valores bajos es mayor el riesgo de erosión y la escorrentía superficial.

Se calcula a partir del cociente entre la razón de longitud y bifurcación. Para obtener la razón de longitud se aplica la siguiente fórmula

$$RI = Lu / (Lu + 1)$$

Donde Lu = longitud de los cauces de orden u

$$Ct = RI / Rb$$

#### **4. Resultados y discusión**

Las cuencas analizadas poseen una superficie que oscila entre los 100 y 500 km<sup>2</sup> siendo

la de mayor tamaño la cuenca alta del Sauce Grande (Tabla 2). La sub-cuenca del Napostá Grande y la cuenca de La Ventana poseen superficies de 111,5 km<sup>2</sup> y 143,5 km<sup>2</sup> respectivamente, correspondiéndose según la clasificación de Chow *et al.* (1994) a cuencas pequeñas. Sauce Grande posee 564,68 km<sup>2</sup>, dimensión que se corresponde con la de una cuenca mediana.

Se establecieron los órdenes jerárquicos para cada sistema (Fig. 3, 4 y 5), obteniendo para la subcuenca del Sauce Grande un máximo de cinco, en la sub-cuenca del Napostá Grande cuatro al igual que en la cuenca del arroyo de La Ventana. En la tabla 2 se presentan área y perímetro de las sub-cuencas y el número de cauces según orden.

Tabla 2: Cálculo de áreas, cantidad de cauces por órdenes y longitud.

Cuencas y sub-cuencas	Área Km <sup>2</sup>	Orden					Longitud de cauces en km	Perímetro de la cuenca en km <sup>2</sup>
		1	2	3	4	5		
Napostá Grande	111,50	48	15	5	2	---	91,84	47,95
de La Ventana	143,65	72	18	6	1	---	116,69	63,75
Sauce Grande	564,68	489	142	35	8	3	615,41	116,58

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Existe una clara relación entre la razón de bifurcación y el comportamiento hidrico de la cuenca, a valores bajos mayor riesgo de inundación pues el agua drena lentamente al principio de la precipitación para descargar de forma súbita, es decir, disminuyendo la capacidad de almacenaje (Strahler, 1964). A su vez los valores bajos de bifurcación se corresponden con cuencas redondeadas, situación que presenta el Napostá Grande.

Se calculó la razón de bifurcación (Tabla 3), los valores oscilaron entre 2,9 y 4,33 indicando su correspondencia a cuencas de montaña, con cierta influencia de las estructuras geológicas en la forma del drenaje. Valores similares fueron hallados para otras sub-cuencas del río Sauce Grande como la del Oro (Gil *et al.*, 2009) Rivera, San Teófilo, San Bernardo y Esmeralda (Gil, 2010). La cuenca del arroyo de La Ventana es la que presenta el valor medio más alto de bifurcación por lo que podrían esperarse picos de crecidas en tiempos más cortos. Además se observan cambios bruscos entre órdenes consecutivos que podrían deberse al cambio litológico de la Formación Bravard a la Formación Lolén.

Tabla 3: Cálculo de la Razón de Bifurcación

Cuencas y sub-cuencas	Rb				Media
	1°	2°	3°	4°	
Napostá Grande	3,2	3	2,5	----	2,9
de La Ventana	4	3	6	----	4,33
Sauce Grande	3,44	4,05	4,37	2,66	3,63

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Los valores de razón de circularidad varían entre 0,44 y 0,60, siendo la sub-cuenca del Napostá Grande la que más se aproxima a uno y por lo tanto la que mayor circularidad presenta, indicando menor tiempo de concentración de escorrentía. La cuenca del arroyo de La Ventana puede considerarse de escasa circularidad. Esta característica tiene correspondencia con los resultados obtenidos por Scavone *et al.* (2014) quienes determinaron que se trata de una cuenca elongada dado que el valor de la relación de elongación que obtuvieron fue de 0,52. Cabe aclarar que una cuenca de forma alargada presenta un retardo en la concentración de la escorrentía a causa de la gran longitud del cauce principal y con ello mayor brusquedad de la crecida, una vez que se concentra el agua (Senciales González, 1999).

La densidad de drenaje es similar para los sistemas del Napostá Grande y de La Ventana, mientras que Sauce Grande supera la unidad. Estos valores se contrastaron con la clasificación de Strahler (1964) que presenta Senciales González (1999). La misma supone que valores inferiores a diez indican baja densidad de drenaje, los cuales se asocian a zonas de gran masividad litológica, espesa cobertura vegetal así como también a materiales permeables. Este parámetro tiene relación directa con el desarrollo de procesos erosivos en la cuenca. Un área con alta densidad de drenaje posee mayor superficie ocupada por canales, lo que implica la existencia de un área reservada para conducir con mayor velocidad el caudal generado por la escorrentía (Senciales González, 1999).

La tabla 4 muestra que los valores obtenidos de este parámetro son muy bajos pues varían entre 0,80 y uno, lo que indica que la infiltración en el área es alta. De esta manera no se ha generado una densa red de canales para encauzar el agua. Como se mencionó anteriormente, la vegetación que domina en el área es la estepa de gramíneas. La disposición de las matas del género *Stipa* que la componen, contribuye a que la cobertura vegetal sea escasa

durante gran parte del año. De esta manera, las características litológicas del área conforman un factor decisivo para el aumento de la infiltración.

Con respecto al coeficiente de almacenamiento los resultados oscilan entre 0,23 y 0,35. Estos valores bajos muestran que el agua precipitada se incorpora rápidamente a la escorrentía superficial y en menor medida es almacenada en forma subterránea. (Tabla 4). Si bien los valores bajos de este parámetro indican una alta infiltración, es importante señalar que el coeficiente de almacenaje fue bajo, indicando riesgo de erosión ocasionada por la escorrentía superficial. La cuenca de La Ventana posee el coeficiente más bajo y es considerada una cuenca pequeña, contribuyendo a la disminución de tiempo de concentración de la escorrentía, tal como lo verificaron Scavone *et al.* (2014).

Tabla 4: Cálculo de Razón de circularidad, densidad de drenaje y coeficiente de almacenaje.

Cuencas y subcuencas	Razón de circularidad	Densidad de drenaje (km/km <sup>2</sup> )	Coefficiente de almacenamiento
Napostá Grande	0,60	0,82	0,35
de La Ventana	0,44	0,81	0,23
Sauce Grande	0,52	1,08	0,27

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Se observó que en cuencas pequeñas (Napostá Grande y de La Ventana) la probabilidad de generación de crecidas ligadas a lluvias de fuerte intensidad es mayor dado que presenta menor tiempo de concentración. Este último factor se ve reflejado con mayor claridad en el caso de la sub-cuenca del Napostá Grande donde la razón de circularidad es de 0,6.

## 6. Conclusiones

Se analizaron distintos parámetros e índices morfométricos con el objetivo de conocer aspectos de la dinámica hídrica que influyen sobre el peligro y manejo de incendios en un sector de Sierra de la Ventana. Los valores de bifurcación, circularidad, densidad de drenaje y coeficiente de almacenamiento determinan que en épocas de abundantes precipitaciones se desarrollen procesos erosivos y la capacidad de retención del agua es baja. Esto se ve reflejado en que los cursos de primer orden son en su mayoría semipermanentes, es decir que el aporte de agua durante la estación seca es escaso y por lo tanto durante gran parte del año se presentan como cauces secos.

Los factores mencionados ayudan a inferir que en el área la disponibilidad hídrica tanto para el manejo de incendios como también para aminorar su ocurrencia es exigua. Como pudo verificarse, la dinámica fluvial es propensa a la generación de crecidas con bajos tiempo de concentración, lo que contribuye a una rápida evacuación del agua. Este comportamiento puede verificarse durante el verano, cuando se generan tormentas convectivas que provocan un rápido aumento del caudal y de la esorrentía. Sin embargo, los valores bajos de los coeficientes de almacenamiento dan muestra de la ausencia de reservorios naturales de agua, hecho que dificulta la prevención de incendios como también su combate.

El presente trabajo evidenció la importancia del análisis de parámetros e índices morfométricos ante la falta de información meteorológica e hidrométrica actualizada, la cual es necesaria para estudiar el peligro de incendios forestales. Por otra parte, los resultados obtenidos se consideran el inicio de un trabajo posterior en el que se ampliará el análisis de los distintos factores que influyen sobre la dinámica fluvial. Los resultados definitivos serán puestos a disposición de las instituciones a cargo de la gestión y prevención de los incendios para cumplir con el objetivo final de la investigación.

## Bibliografía

- Andreis, R. y López Gamundi, O. (1985). "Interpretación paleoambiental de la secuencia paleozoica del Cerro Pan de Azúcar, Sierras Australes, provincia de Buenos Aires". I Jornadas Geológicas Bonaerenses. La Plata. Resumen. Pp. 241.
- Andreis, R. y Japas, M. S. (1996). "Cuencas Sauce Grande y Colorado". En Archangelsky (ed.): *El sistema Pérmico en la República Argentina y en la República Oriental del Uruguay*, Academia Nacional de Ciencias. Pp. 45-64.
- Andreis, R., Japas, M. S. y Rodriguez, S. (1996). "Excursión geológica nº 1: Sierras Australes del Buenos Aires (Ventania)". 13º Congreso Geológico Argentino y 3º Congreso de Exploración de hidrocarburos. Buenos Aires. Pp. 32.
- Barrera, M. y Frangi, J. (1997). "Modelo de estados y transiciones de la arbustificación de pastizales de Sierra de la Ventana, Argentina". *Ecotrópico*, 10. 2. Pp. 161-166.
- Campo de Ferreras, A.; Capelli de Steffens, A y Diez, P. (2004). *El clima del Suroeste bonaerense*. Bahía Blanca: Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur.
- Carrica, J y Lexow, C. (2004). "Evaluación de la recarga natural al acuífero de la cuenca superior del arroyo Napostá Grande, provincia de Buenos Aires". *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59. 2. Pp. 281-290.
- Chow, N.T., Maidment, D.R. y Mays, L.W (1994). *Hidrología apli-*



- cada. Bogotá: McGrawhill.
- Gil, V. (2009). *Hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al análisis de crecidas*. Tesis de Doctorado en Geografía, Departamento de Geografía y Turismo. Universidad Nacional del Sur.
- Gil, V. y Campo, A. (2000). "Cuenca del Arroyo del Oro: Características hidrográficas y los efectos sobre la población". *Actas III Jornadas de Geografía Física*, Universidad del Litoral. Pp. 153-159.
- Gil, V., Gentili, J. y Campo, A. (2009). "Influencia de la litología en la variación de los parámetros morfométricos, sistema de Ventania, Argentina". *Papeles de Geografía*, 49-50. Pp. 55-68.
- Gonzalez de Matauco, A. I. (2004). "Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas". *Boletín de la A.C.E.*, 38. Pp. 311-329.
- Harrington, H. (1947). "Explicación de las hojas geológicas 33m y 34m, Sierras de Curamalal y de la Ventana, provincia de Buenos Aires". *Boletín del Servicio Nacional Minero Geológico*, 61. Pp. 43.
- Kristensen, J. y Frangi, L. (1995). "Mesoclimas de pastizales de la Sierra de la Ventana". *Ecología Austral*, 5.1. Pp. 55-64.
- Lizzi, J., Martin, F., Golluscio, R. y Deregibus, A. (2007). "Mapeo indirecto de la vegetación de Sierra de la Ventana, provincia de Buenos Aires". *Ecología Austral*. 17. 2. Pp. 217-230.
- Massabie, A.C., Rosello, E.A. y López Gamundi, O.R. (2005). "Cubierta paleozoica-mesozoica de las Sierras australes de la provincia de Buenos Aires". En *Geología y Recursos Minerales de la provincia de Buenos Aires*. Anales Academia Nacional de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Pp. 195-204.
- Michalijos, M. P. y Uboldi, J. (2013). "Propuesta metodológica para la evaluación de áreas afectadas por incendios mediante el uso de imágenes satelitales (Sierra de la Ventana, Argentina)". *Revista de Geografía Norte Grande*, 56. Pp. 223-234.
- Romero Diaz, M. A. y Lopez Bermudez, F. (1987). "Morfometría de redes fluviales: revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al alto Guadalquivir". *Papeles de Geografía*, Nº 12. Pp. 47-62.
- Scavone, A. S., Gentili, J. O. y Gil, V. (2014). "Índices morfométricos aplicados al análisis de crecidas. Arroyo de La Ventana, Argentina". *Geotecnologías del Sur Argentino*. Casos de estudio. Pp.

478-486.

Senciales Gonzales, J. M. (1999). *Redes fluviales. Metodología de análisis*. Málaga: Universidad de Málaga.

Sellés Martínez, J. (2001). "Geología de la Ventania (provincia de Buenos Aires, Argentina)". *Journal of Iberian Geology*, 27. Pp. 43-69.

Strahler, A. (1964). "Quantitative geomorphology of drainage basins and channel Networks". En Chow, N. T.: *Handbook of applied hidrology*. New York: McGrawHill.

Thorntwaite, C. W. (1948). "An Approach toward a Rational Classification of Climate". *Geographical Review*, 38. Pp. 55-94.

---

Recepción del trabajo: 05/11/2014 / Aceptado: 02/01/2015