

Caracterización morfométrica geoespacial. Estudio de caso: Arroyo Belisario, Argentina

Geospatial morphometric characterization.
Case of study: Belisario Creek, Argentina

MARÍA ISABEL DELGADO^{1,2,3} Y FERNANDA JULIA GASPAR¹

Recibido: Junio 10, 2010

Aceptado: Agosto 24, 2010

Resumen

La escasez de análisis morfométricos e hidrográficos de cuencas en Argentina incentivó la elaboración de este artículo, planteándose como caso de estudio la cuenca del Arroyo Belisario, en el área serrana del sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. El objetivo del trabajo fue realizar un análisis geoespacial de las características morfométricas de la cuenca del Arroyo Belisario, con el uso de SIG. Se utilizaron tres métodos geoespaciales para establecer los límites de cuenca y subcuencas. Los resultados mostraron un leve grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio, sin presentar diferencias significativas en el análisis estadístico. Según la curva hipsométrica, el 90 % de la cuenca presenta cotas superiores a 500 msnm, mientras que sólo un 25 % presenta valores mayores a 800 msnm. El coeficiente de compacidad de Gravellius alcanzó un valor de 1.86, representando una forma de cuenca oblonga, que genera un retardo en la acumulación de las aguas al paso del arroyo por su punto de desagüe. La cuenca presentó un carácter torrencial que debe valorarse antes de la planificación, debido a que puede haber avenidas violentas de escurrimiento desde la cuenca alta que afecten la parte baja con inundaciones transitorias.

Palabras clave: cuenca hidrográfica - datos geoespaciales - morfometría - Sistemas de Información Geográfica.

Abstract

The very few scientific studies about the morphometric and hydrographic characterization of a watershed in Argentina, was the reason for carrying out this publication, choosing as the study area the watershed of the Belisario Creek, in the Southwest of the Buenos Aires province. The aim of this work was to analyzed in a geospatial way, the morphometric characteristics of the watershed of the Belisario Creek, using a GIS. Three geospatial methods were used to establish the limits of the basin and sub-basins. The results showed a little level of dispersion contrasted with the mean value, without showing significant differences in the statistic analysis. In the hypsometric curve, the 90 % of the basin presents its height above the 500 masl, meanwhile only the 25 % presents values above 800 masl. The Gravellius's coefficient of compactness reached a value of 1.86 representing an oblonged shape, causing a delay on water accumulation. The torrential characteristics of the watershed must be considered for a correct planning, because they could become dangerous as they increase runoff in the highest part of the basin. This torrential characteristic and the increment of the volume of water accumulated in the lower part of the watershed, will expose the area to transitory floods.

Keywords: Geographic Information Systems - geospatial data - hydrographic basin -morphometry.

Introducción

La adecuada interpretación de los procesos hidrológicos que ocurren en la superficie terrestre, particularmente en cuencas hidrográficas, así como sus respuestas a los cambios climáticos, transformaciones en el uso y manejo del suelo, han sido el objetivo principal de investigación desde hace más de cien años.

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Diagonal 113 Núm. 469, La Plata CP (1900), Buenos Aires, Argentina. Tel. 0054-221-423-6616.

² Becaria de postgrado de CONICET

³ Dirección electrónica del autor de correspondencia: isabeldelgado@agro.unlp.edu.ar

El funcionamiento hidrológico de una cuenca se asemeja al de un colector que recibe la precipitación y la convierte en escurrimiento. Esta transformación depende de las condiciones climáticas y de las características físicas, estableciendo una condición hídrica particular en cada unidad hidrológica.

La influencia de estos factores sobre la transformación de la precipitación en escurrimiento es intuible cualitativamente, formulándolos mediante parámetros morfométricos. El análisis morfométrico en una cuenca de drenaje es de gran importancia para comprender e interpretar su comportamiento morfodinámico y su respuesta hidrológica (Méndez y Marcucci, 2006). Desde este punto de vista, la cuenca hidrográfica puede complementar la caracterización morfológica, con aspectos edáficos, de la cobertura vegetal y uso del suelo (Henaos, 1988; Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; Gaspari, 2002).

Según Tucker *et al.* (2001) el grado en que el relieve del paisaje se divide en los distintos cursos de los arroyos, se ha reconocido como una propiedad morfométrica natural del terreno, que explica el funcionamiento hidrológico particular de una cuenca.

Se puede definir que estos índices morfométricos expresen una caracterización básica de una cuenca, por medio de estudios de semejanza y comparación ante su respuesta hidrológica (López Cadenas del Llano, 1998).

El análisis y manejo de base de datos geoespaciales con Sistemas de Información Geográfica (SIG), integradas a nivel de cuenca hidrográfica, se han tornado en la actualidad como un instrumento fundamental para evaluar situaciones reales y simular diferentes características morfométricas e hidrológicas. Además, permite el uso de datos georreferenciados, para elaborar interacciones y superposiciones de las distintas capas temáticas, y con ello poder interactuar con la información de un modo completo.

El SIG es un conjunto de herramientas informáticas que por medio del procesamiento de la información digital georreferenciada y metodologías particulares objeto del procesamiento, actúa lógica, coordinada y sistemáticamente según el requerimiento del operador. Este procedimiento permite almacenar, desplegar, consultar, analizar y modelar datos geoespaciales, de tal manera que sirvan como información base para la toma de decisiones en diversos temas, tales como definición de la morfometría de una cuenca hidrográfica, hasta su ordenamiento territorial (Gaspari *et al.*, 2009).

El análisis morfométrico geoespacial manipula información altimétrica, denominada Modelo Digital de Elevación (MED), de diverso origen, tales como cartografía topográfica en papel, la obtenida por interpolación de la anterior o la generada por imágenes de elevación del terreno, como del SRTM.

La Misión Topográfica del Radar Shuttle (SRTM: Shuttle Radar Topography Mission) es un proyecto internacional llevado adelante por la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial (NGA) y la Administración Nacional del Espacio y Aeronáutica (NASA) de Estados Unidos, en el año 2000. El SRTM se basa en un sistema de radar especialmente modificado, montado a bordo del satélite Space Shuttle Endeavour, el cual obtuvo un conjunto de datos globales de elevación del terreno para generar la base de datos de modelos digitales de terreno. Estos MED tienen una resolución global de 3" (90 metros) en su primera edición (misión de 11 días en febrero 2000). Una nueva actualización ofrece una precisión de 1" (30 metros) para casi la totalidad del mundo. Esta base de datos topográfica digital (MED) está disponible gratuitamente a la descarga, para actividades de investigación, en el portal de la NASA (<http://dds.cr.usgs.gov/srtm/>).

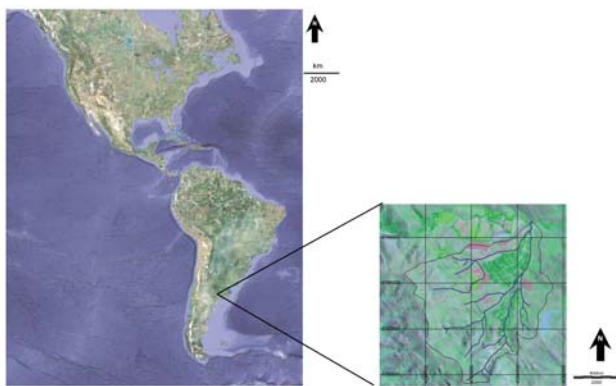
El objetivo del presente trabajo fue realizar un análisis geoespacial de las características morfométricas de una cuenca serrana con el uso de SIG.

Materiales y métodos

Área de estudio

La escasez de análisis morfométricos e hidrográficos de cuencas en Argentina incentivó la elaboración de este artículo, planteándose como caso de estudio la cuenca del Arroyo Belisario, en el área serrana del sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Figura 1). En esta figura se presenta el área en estudio a escala continental (sobre imagen de Google Maps®) y la imagen satelital en detalle de la cuenca del Arroyo Belisario (sobre imagen LANDSAT 7 ETM).

Figura 1. Mapa del área en estudio a escala continental e imagen en detalle de la cuenca del Arroyo Belisario.



Según Cellini y Silva (1988), el área en estudio sobre el Sistema Serrano de Sierra de la Ventana está compuesta por dos elementos geomorfológicos: el cordón serrano de topografía accidentada con grandes y continuos contrastes de pendientes, que se trata de un área rocosa (cuarcitas y esquistos), que abarca desde las parteaguas hacia suaves lomadas, que tienden a un suelo en formación sobre el piedemonte, con laderas de pendientes suaves, pequeños y estrechos valles que evolucionan, a depósitos en abanicos aluvio-columviales, hasta la desembocadura de la cuenca

De acuerdo a Kosarik (1967) y Hauri (2006), los suelos dominantes en la cuenca del Arroyo Belisario son Hapludoles líticos que ocupan principalmente las laderas en pendientes

abruptas, por encima de las cuales aparecen rocas aflorantes. Sólo en lugares donde la capa de loess predomina, se encuentran Hapludoles típicos. De acuerdo con el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (1990), los Hapludoles presentan debajo del horizonte superficial oscuro, un horizonte de alteración poco enriquecido en arcilla. Poseen buenas condiciones edáficas a excepción de una leve disminución de la capacidad de retención de humedad. Los Hapludoles líticos son suelos asociados a áreas de pendientes pronunciadas con delgada cubierta de materiales eólicos sobre roca; presentando una secuencia de horizontes A₁-Roca, constituyendo suelos muy someros. Mientras que los Hapludoles típicos son suelos profundos, con buenas condiciones de drenaje, presentando generalmente una secuencia de horizontes A₁-B₂-B₃-C.

Burgos (1963) define al clima como templado y subhúmedo seco según la metodología de Thornthwaite. La temperatura media anual es de 14,5 °C, registrándose heladas entre junio y agosto. La distribución temporal de las precipitaciones tiene una marcada estacionalidad, concentrando el 64 % de noviembre a marzo (Gaspari, 2002). Cabe destacar, que si bien el valor medio de precipitación para la región es de 800 mm (Gaspari *et al.*, 2006), en la actualidad el régimen de precipitaciones presenta una línea de tendencia negativa, limitando las actividades económico-productivas (Delgado *et al.*, 2009).

Delimitación de la cuenca y definición de la red hidrográfica

El programa SIG Idrisi ®, utilizado en el presente caso de estudio, fue desarrollado por Clark Labs, Clark University, para generar información de apoyo en la toma efectiva y responsable de decisiones en la gestión ambiental, el desarrollo sostenible de los recursos y la asignación equitativa de los recursos (Clark Labs, 2010). La versión Idrisi 15, The Andes Edition, dispone de aproximadamente 250 módulos y proporciona facilidades para el ingreso, procesamiento y análisis de datos geográficos (Eastman, 2006).

El análisis morfométrico se generó con el SIG utilizando dos tipos de información de base topográfica georreferenciada: la vectorial y la raster. Los métodos de aplicación para el establecimiento de las parteaguas a nivel de cuenca y subcuenca, fueron los siguientes:

a) Sobre la base del mapa vectorial topográfico, generado de la digitalización en pantalla de la Carta Topográfica Sierra de la Ventana (Escala 1:50000, con Equidistancia de 25 m) (IGM, 1972), se generó una base de datos vectorial altimétrica (BDVA), donde se incorporó por digitalización manual la red de drenaje. La interpolación lineal de las curvas de nivel generó el Modelo de Elevación Digital (MED), que permitió la posterior delimitación manual en pantalla de cuenca y subcuencas.

b) Utilizando como base el MED obtenido en el método a), se definió automáticamente el límite de cuenca y subcuencas, aplicando el comando *Watershed* del SIG. El comando *Watershed* identifica la cuenca a partir de una imagen raster. Aplicando el método automático, el software determinó las subcuencas de acuerdo a un valor umbral del área de drenaje según el MED, representando el mínimo número de celdas por unidad hidrológica. En la imagen de salida cada subcuenca es identificada secuencialmente hacia la desembocadura.

c) Sobre la base del raster altitudinal del modelo de elevación del terreno del SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), se determinó el límite de la cuenca y subcuencas, a través del comando *Watershed* del SIG.

Análisis morfométrico - geoespacial

A partir de los modelos digitales de terreno y de las unidades hidrológicas definidas, se realizó el análisis morfométrico de parámetros de forma, de relieve y relativos a la red hidrográfica (Henaos 1988; López Cadenas de Llano 1998) por medio de la generación manual y automática con SIG. Los coeficientes morfométricos analizados a nivel de cuenca se establecieron según Gaspari *et al.* (2009), definiéndose como: Perímetro del contorno de la cuenca (P)(km); Área de la cuenca (A) (km²); Longitud axial (La), que representa la

distancia entre desembocadura y el punto más lejano de la cuenca (km); Ancho promedio (AP), expresado por el cociente entre el área de la cuenca y longitud axial (km); el coeficiente IF que denota la forma de concentración del escurrimiento superficial, caracterizando la forma particular de la cuenca. Además se determinó la densidad de drenaje (Dd), que indica la relación entre la sumatoria de la longitud de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca (Ln) con respecto al área de la misma (López Cadenas de Llano, 1998). Dd (km / km²) fue establecida por Horton según el cociente entre Ln y A. Se considera que Dd caracteriza cuantitativamente la red hidrográfica de la cuenca, además explica el grado de relación entre el tipo de red de drenaje y la clase de material predominante (Henaos, 1988; López Cadenas de Llano, 1998).

La altura media (Hm) fue enunciada como la altura definida por el volumen de la cuenca en relación a su superficie (m). La pendiente media (Pm) indica la relación altitud-distancia según el eje central de la cuenca (porcentaje). La curva hipsométrica (CH) expone la distribución del área de acuerdo a su elevación, establecida para cada clase de elevación (sobre una equidistancia de 100 m, en este estudio) por medio de una curva de doble eje de coordenadas (ordenada es la cota altitudinal (msnm) y la abscisa es el área por encima de una cota dada (en % o km²)). Según Langbein *et al.* (1947) una curva hipsométrica proporciona información sintetizada sobre la altitud de la cuenca, representando gráficamente la distribución de la cuenca vertiente por tramos de altura (Gaspari *et al.*, 2009). La relación hipsométrica (RHp) fue obtenida a partir del análisis altitudinal correspondiente al límite de la cuenca.

Además, para establecer en detalle el estudio a nivel de subcuenca, se determinaron los siguientes parámetros morfométricos en forma automática con SIG: Relación de circularidad (Rci): cociente entre el área de la cuenca y un círculo cuya circunferencia es equivalente al perímetro de la cuenca, según la siguiente expresión $Rci = 4 \times \pi \times A / P^2$ (Diaz *et al.*, 1999). El coeficiente de compacidad de Gravellius (Kc) es la relación entre el perímetro de la cuenca con el perímetro

de otra teórica de forma circular de la misma superficie, según la siguiente ecuación: $Kc = 0.28 \times P / A^{1/2}$ (Henaos, 1988).

El análisis geoespacial automático con SIG se determinó a nivel de cuenca, CH y RHp con el módulo para Idrisi Andes® denominado *Agua / Aspectos medioambientales / Parámetros de cuencas*, generado por el Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México (<http://www.idrisi.uaemex.mx>). También se aplicó este módulo para la determinación a nivel de subcuenca de Rci y Kc.

Resultados y discusión

Topografía y delimitación de la cuenca hidrográfica

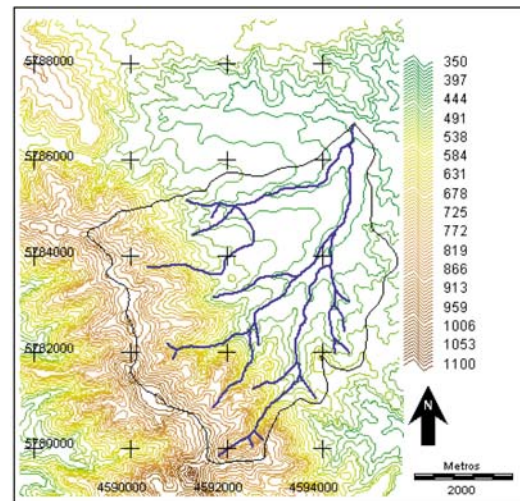
Las curvas de nivel, límite de cuenca y la red de drenaje obtenidas por la BDVA del método a) se exponen en la Figura 2. La equidistancia utilizada fue de 25 m, determinándose un desnivel de 750 m para la cuenca del Arroyo Belisario, cuyas cotas están distribuidas entre los 350 msnm (tonalidades verdes) y los 1100 msnm (tonalidades violáceas).

El MED proporcionó información altitudinal a nivel de píxel, con un tamaño de 4 m x 4 m, generando una mejor capacidad de distinguir los detalles espaciales finos, elevando la definición espacial tridimensional, permitiendo una óptima descripción de cada elemento altitudinal. Los

resultados del método a) y b) indicado por el MED, y del método c), por la imagen SRTM del área en estudio, se ilustran en las Figura 3 (1) y (2), respectivamente. En el caso del método c), donde se utiliza la base raster de un recorte del SRTM en la cuenca de estudio, cuyo MED generado presenta un píxel original con una dimensión de 94m x 74m (Figura 3 (2)).

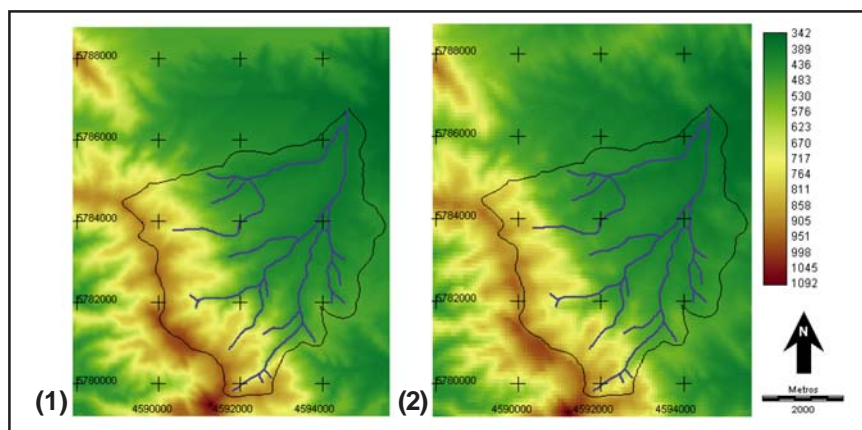
La delimitación a nivel de subcuenas, por el Método a) definieron 14 unidades hidrológicas. En el Método b) se identificaron 11 subcuenas, mientras que en el Método c) se determinaron 13 subcuenas (Figura 4).

Figura 2. Mapa topográfico de la cuenca del Arroyo Belisario, con red de drenaje según Método a.



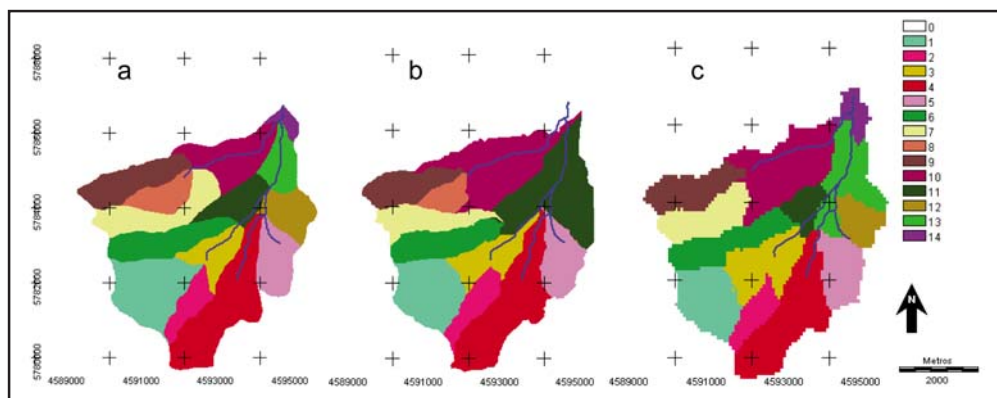
Cota expresada en msnm. Equidistancia de 25 m.

Figura 3. Cuenca del Arroyo Belisario con (1) Modelo de Elevación Digital (MED) y (2) SRTM.



Cota expresada en msnm.

Figura 4. Delimitación de subcuencas por los tres métodos.



Obsérvese en la Figura 4, que en los dos primeros métodos, la delimitación generó límites suaves de subcuencas; contrariamente, en el Método c), resulta muy evidente la baja resolución del raster, donde sobresalen los límites en forma de pixel.

La misma expresa dos conflictos elementales comparativamente entre los tres métodos de estudio, tales como la diversa delimitación sobre el límite noroeste de las subcuencas debido a la presencia de cursos de agua transitorios, no incorporados en el diseño de drenaje vectorial, que dificultaron el trazado automático; y el mínimo desnivel del terreno sobre la desembocadura impidió la precisa definición del punto de salida de la cuenca.

Análisis morfométrico

Los resultados morfométricos obtenidos con los tres métodos con SIG se presentan en el Cuadro 1.

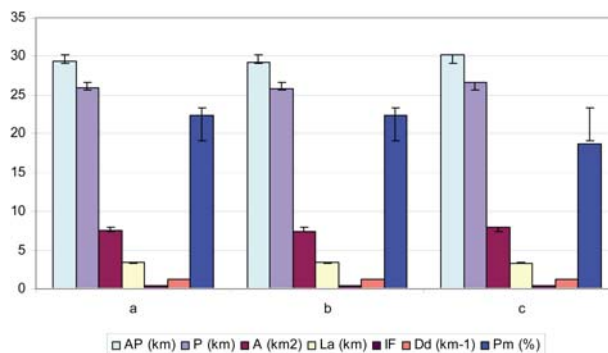
Cuadro 1: Análisis morfométrico a nivel de cuenca.

	Método		
	a	b	c
P (km)	29.3	29.2	30.2
A (km ²)	25.9	25.8	26.6
La (km)	7.5	7.5	8.0
AP (km)	3.4	3.4	3.3
IF	0.5	0.5	0.4
Dd (km/km ²)	1.2	1.3	1.2
Hm (m)	565.2	566.6	549.9
Pm (%)	22.4	22.4	18.7

Los resultados alcanzados por el análisis morfométrico a nivel de la cuenca del Arroyo Belisario fueron validados con datos de campo, con la información brindada por el Método a).

El análisis estadístico de los resultados presentaron datos conformes a una tendencia central, exponiendo un leve grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio. En la Figura 5 se comparan los tres métodos morfométricos a nivel de cuenca, indicando un análisis estadístico, representado con una desviación estándar comparativa entre las metodologías.

Figura 5. Comparación de los parámetros morfométricos a nivel de cuenca según los tres métodos estudiados.

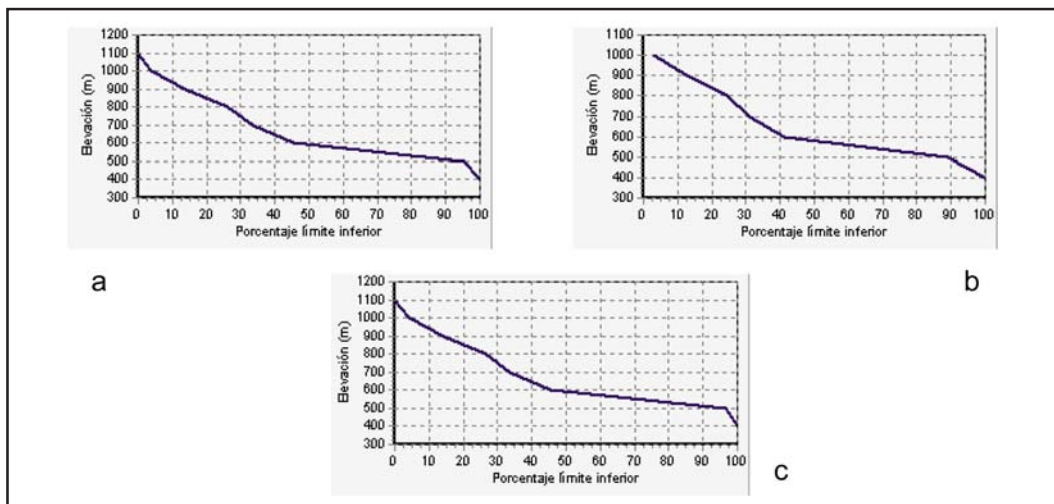


En la Figura 6 se observa la curva hipsométrica (CH) de la cuenca del Arroyo Belisario para los tres métodos analizados con SIG. Los resultados definen que el 90 % de la cuenca presenta cotas superiores a 500 m sobre el nivel del mar. El 45 % de la cuenca presenta altitud mayor a 600 msnm, mientras que el 25 % de la cuenca presenta altitud mayor a los 800 msnm. En los tres casos, el 10% que corresponde

a cotas menores a 500 msnm, la CH genera una distribución levemente disímil, alcanzando un valor de cota de 400 msnm en la desembocadura, que como se mencionó en la Figura 4, se debe a que el mínimo desnivel del terreno impidió la

precisa definición del punto de salida de la cuenca, a esta escala de trabajo. La alta correlación entre las tres curvas hipsométricas generadas automáticamente expresa la homologación altitudinal representada por los tres métodos estudiados.

Figura 6. Curva hipsométrica de la cuenca del Arroyo Belisario según métodos a, b y c con SIG.

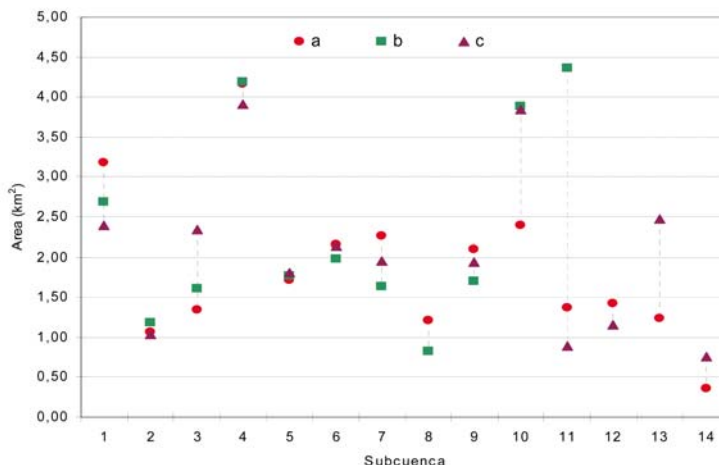


La relación Hipsométrica (RHp) a nivel de cuenca responde de forma análoga para los tres métodos, alcanzando valores de 1.61 para el método a), 1.59 para b) y 1.51 para el método c), indicando homogeneidad de parámetros de elevación.

El análisis morfométrico comparativo del área de cada subcuenca se presenta en la Figura 7. La divergencia entre los resultados alcanzados por los diferentes métodos, indican

una mayor precisión con el método a), expresando para el caso del método b) que las subcuencas bajas son unificadas, debido a que el procesamiento automático no define un parteaguas en la zona baja, por la escasa altitud y falta de drenajes definidos, produciéndose una sola unión entre las subcuencas 11-12-13 y 14. En el caso de c), establece las subcuencas en forma homóloga al método a), excepto la subcuenca 8, que no presenta una red de drenaje definida, según el SRTM.

Figura 7: Comparación de métodos morfométricos a nivel de subcuenca. Parámetro de forma: Área.



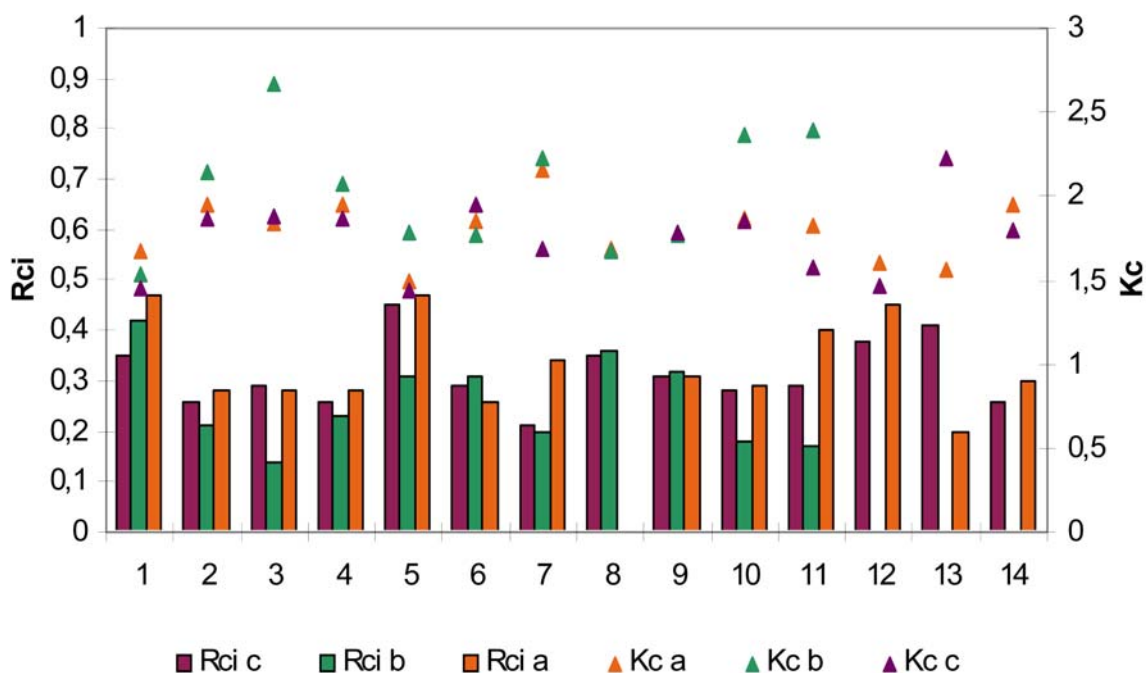
La relación de circularidad (Rci) determinada para la cuenca del Arroyo Belisario, fue de 0.3, cuyo valor máximo a nivel de subcuenca fue de 0.5.

La determinación del Coeficiente de compacidad de Gravellius (Kc) a nivel de cuenca alcanzó un valor de 1.86 estableciendo que la cuenca del Arroyo Belisario presenta la

forma de cuenca oblonga, que indica un retardo en la acumulación de las aguas al paso del arroyo por su punto de desagüe. A nivel de subcuenca, se observa que los valores oscilan entre 1.5 y 2.6, caracterizándolas en forma general, como subcuencas ovalada-oblongas.

En la Figura 8 se expone el valor de Rci y Kc a nivel de subcuenca.

Figura 8. Comparación de Rci y Kc a nivel de subcuenca.



Al analizar las características morfométricas de la cuenca y de su red de drenaje en forma geoespacial con SIG, se establece que se trata de un paisaje serrano, con pendientes escarpadas en gran superficie de la cuenca. Presenta un gran desnivel según la interpretación conjunta de los índices morfométricos, demostrado en su moderada - alta amplitud altimétrica y pendiente media - alta.

La cuenca del Arroyo Belisario presenta características morfométricas que le infringen un carácter torrencial, el cual no debe desestimarse a la hora de efectuar una correcta planificación.

Conclusiones

El uso de herramientas geoespaciales, bajo entorno de Idrisi Andes® permitió realizar una completa caracterización morfométrica, tanto a nivel de cuenca como de subcuenca. La información generada sobre las formas particulares del relieve definió la incidencia que presentan sobre la respuesta hidrológica de la cuenca, siendo éste un aspecto fundamental en el momento de planificar y desarrollar un ordenamiento territorial en el área.

Los tres métodos implementados permitieron obtener información morfométrica en cuencas hidrográficas, siendo importante establecer que la delimitación de parte aguas


se puede realizar prescindiendo de la utilización de cartografía topográfica tradicional en papel y utilizando modelización automática con SIG y modelos digitales del terreno, disponibles *on line* y de uso gratuito.

Los índices morfométricos expresaron una descripción subjetiva por unidad de drenaje, donde la información aportada ofreció un análisis general de las características físicas de forma, red de drenaje y relieve del sistema serrano del sudoeste bonaerense, conformando un elemento decisivo durante la toma de decisiones para un manejo sustentable a nivel regional.

Particularmente, las condiciones topográficas de la cuenca del Arroyo Belisario tienden a generar una criticidad ambiental sobre la productividad local y su sociedad, dependiendo de las características de los eventos pluviales extremos. La morfometría explicó que estos eventos extremos, al definir una alta torrencialidad y un aporte rápido de escurrimiento superficial, inducirían un fuerte impacto por parte de las avenidas, en la parte alta a media de la cuenca. Este efecto conlleva un déficit en el desagüe natural por la acumulación repentina de un volumen de agua en la parte baja, exponiendo el terreno a inundaciones transitorias, lo cual representa un peligro real para los pobladores establecidos, como así también para el turismo que frecuenta el área.

Literatura citada

BURGOS, J. 1963. Las heladas en la República Argentina. INTA. Colección Científica, Vol. 3. Buenos Aires. 388 pp.
CELLINI, N. y D. Silva. 1988. Provisión de agua potable a la localidad veraniega de Villa Ventana. Tornquist. PBA. Comunicación científica inédita.
CLARK LABS. 2010. About us. <http://www.clarklabs.org/about/index.cfm>.

DELGADO M.I., G. Senisterra, F. Gaspari, A. Rodríguez Vagaría y S. Besteiro. 2009. Variación del régimen pluviométrico en el Sistema de Serrano del suroeste bonaerense, Argentina. *Revista electrónica REDLACH*. Número 1, Año 5. pp 67 - 74
DÍAZ C., K. Mamado, A. Iturbe, M.V. Esteller y F. Reyuna. 1999. Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: caso del curso alto del Río Lerma, Estado de México. *Revista Ciencia Ergo Sum*, Volumen 6, N°2. Universidad Autónoma de México, Toluca, México. pp 124 – 134.
EASTMAN, J.R. 2006. Idrisi Andes Guide to GIS and Image Proccesing. Clark Labs, Clark University, USA. 328 pp.
GASPARI, F.J. 2002. Plan de ordenamiento territorial en cuencas serranas degradadas. Aplicación de sistemas de información geográfica. Huelva. España. Ediciones cooperativas. Buenos aires. 179 pp.
GASPARI, F.J. J. Bruno, R. Rickfelder, B. Hauri, I. Cornelly, C. Oroná y M. Leonart. 2006. Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas Serranas del Partido de Tornquist. Estudio de Prefactibilidad. 135 pp.
GASPARI, F.J., G.E. Senisterra, M.I. Delgado, A. Rodríguez Vagaría y S. Besteiro. 2009. Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. Primera Edición. La Plata. 321 p.
HAURI, B.A. 2006. Determinación de la erosión hídrica superficial asociada al uso del suelo en la cuenca hidrográfica del arroyo Belisario. Tesis de Magister Scientiae en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas, FCAYF, UNLP. Inédito. 113 pp.
HENAOS, J.E. 1988. Introducción al manejo de cuencas hidrográficas. Universidad Santo Tomás, Centro de Enseñanza Desescolarizada. Bogotá. 396 pp.
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA. 1990. Atlas de suelos de la República Argentina. Tomo I. 202 pp.
KOSARIK, J. C. 1967. Estudio preliminar del estado natural de la cuenca Arroyo Belisario para su futura ordenación. Tesis de Grado. 53 pp.
LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F. 1998. Restauración Hidrológica Forestal de cuencas y Control de la Erosión. Ingeniería Medioambiental. TRAGSATEC. Min.Medio Ambiente. Ed. Mundi Prensa. España. 945 p.
MÉNDEZ W. y E. Marcucci. 2006. Análisis morfométrico de la microcuenca de la Quebrada Curucutí, Estado Vargas-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, Vol. 47(1) 2006, pp 29-55.
MINTEGUI AGUIRRE, J.A. y F. López Unzú. 1990. La Ordenación Agrohidrológica en la Planificación. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Madrid. 308 pp.
SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). 2000. Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial (NGA), y la Administración Nacional del Espacio y Aeronáutica (NASA). <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>
TUCKER G., F. Catani, A. Rinaldo y R. Bras. 2001. Statistical analysis of drainage density from digital terrain data. *Geomorphology* 36 _2001. Pp 187–202. 

Este artículo es citado así:

Delgado, M. I., F. J. Gaspari: 2010. *Caracterización morfométrica geoespacial. Estudio de caso: Arroyo Belisario, Argentina. TECNOCENCIA Chihuahua* 4(3): 154-163.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

MARÍA ISABEL DELGADO. Terminó sus estudios universitarios en 2005, obteniendo el título de Ingeniera Forestal en la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Realizó su posgrado en la misma Institución, donde obtuvo el grado de Magister Scientiae en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas en 2009. Actualmente se desempeña como becaria de Postgrado del CONICET, desarrollando sus estudios de Doctorado en la Universidad Nacional de Rosario. Desde el año 2006 se desempeña como docente en la cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas, en la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, en la Universidad Nacional de La Plata. Su área de especialización es el manejo de cuencas y la conservación del recurso suelo y agua. Se encuentra codirigiendo una tesis de Maestría. Es autora de 8 artículos científicos y 2 libros de la especialidad. Ha presentado más de 24 trabajos en Congresos y eventos científicos.

FERNANDA JULIA GASPARI. Ingeniera Forestal, y Magister Scientiae Conservación y Gestión del Medio Natural. Doctora en Ingeniería Hidráulica. Con 17 años en docencia universitaria, siendo actualmente en Grado Profesora Adjunta a Cargo del Curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. En Post-Grado se desempeña como Codirectora de la Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas, siendo además Profesora a cargo de dos cursos. Entre sus publicaciones se encuentran 6 libros, 8 capítulos de libro, 21 artículos en revistas y 77 trabajos en congresos. Ha realizado 22 informes técnicos e informes, y organizado 6 convenios inter-institucionales. Dirigió 7 tesis de Maestría; y actualmente tiene 3 en desarrollo y 2 de doctorado. Ha dirigido 4 becas de experiencia laboral y 3 becas de Postgrado.