



Morfometría comparada de tres cuencas hídricas en la ladera occidental de la sierra de Comechingones. San Luis, Argentina

Watershed morphometrical compared in the western slope of sierra de Comechingones. San Luis, Argentina

Sosa, Graciela ¹ ✉ - Ojeda, Guillermo ¹

Recibido: 03 de septiembre de 2014 • Aceptado: 29 de diciembre de 2014

Resumen

Se comparan morfométricamente tres cuencas hídricas en la ladera occidental de la Sierra de Comechingones con la finalidad de conocer sus comportamientos hidrológicos, realizar estimaciones sobre su evolución en relación a la erosión, y generar información para el análisis de los riesgos geológicos de un territorio con desarrollo turístico y agrícola creciente. Se utilizaron Modelos Digitales de Elevación (MDE) del sensor ASTER (GDEM), los cuales fueron procesados mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) para la obtención de diferentes parámetros morfométricos. Para la delimitación de las cuencas y el trazado de la red de drenaje se emplearon imágenes satelitales Google Earth©. La Sierra de Comechingones, como parte integrante de las Sierras Pampeanas, se caracteriza por una composición ígneo-metamórfica, con una estructura interna dominante NNE-SSO y una fuerte asimetría topográfica de sus laderas. La ladera occidental, asociada al frente de fallamiento que elevó los bloques serranos y los basculó hacia el Este, es más abrupta que la oriental, con valores de pendientes entre 30 y 40 %. Las cuencas estudiadas son de pequeño tamaño (entre 11 y 18 km²) y su análisis morfométrico indica características similares entre ellas. En particular sus formas oval redonda a oval oblonga indican una tendencia moderada a las crecidas estacionales. Por otra parte, el análisis de las curvas hipsométricas y de los perfiles longitudinales, señalan que las cuencas se encuentran en una etapa juvenil de desarrollo, dominando los procesos de erosión sobre la sedimentación, principalmente en las zonas de cabeceras.

Palabras clave: Morfometría, Cuenca hídrica, Sierra de Comechingones, Erosión.

Abstract

Three watersheds on the western slope of the Sierra de Comechingones are morphometrically compared in order to get their hydrological behavior and to estimate its erosion evolution and generate information about the geological risks of a territory with a growing tourism and agriculture development. ASTER Digital Elevation Models (GDEM) were processed by means of a Geographic Information System (GIS) to obtaining

1. Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Luis, Ejército de los Andes 950, San Luis (5700

✉ gdelrsosa@mail.com

different morphometric parameters. For the delineation of watersheds and the digitalization of the drainage network Google Earth © satellite images were used.

The Sierra de Comechingones, as part of the Sierras Pampeanas, is characterized by an igneous-metamorphic composition, NNE-SSW dominant internal structure and a strong topographic asymmetry of its slopes. The western slope, corresponding to the front of faulting which raised the mountain blocks and tilted eastward, is steeper than the east with slopes between 30-40%. The studied basins are small (between 11 and 18 km²) and its morphometrical analysis shows similar characteristics between them. In particular oval round to oblong oval shapes indicate a moderate tendency to seasonal floods. Moreover, analysis of the hypsometric curves and longitudinal profiles, indicate that the basins are in a juvenile stage of development, dominating erosion processes over sedimentation, mainly in the headwaters.

Keywords: Morphometry, Watershed, Sierra de Comechingones, Erosion.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se analizan y comparan tres cuencas hídricas desarrolladas sobre la ladera occidental de la Sierra de Comechingones, en la provincia de San Luis. El objetivo principal de la investigación ha sido describir y comparar las características morfométricas de las cuencas de los ríos Seco, El Tala y Papagayos a partir de datos aportados por Modelos Digitales de Elevación (DEM) y procesamiento de estos mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG). La finalidad es conocer sus comportamientos hidrológicos y realizar estimaciones sobre su evolución en relación a los procesos de erosión, considerando que dicha información puede ser relevante para el análisis de los riesgos geológicos y la planificación de un territorio con un desarrollo urbano creciente en relación a emprendimientos turísticos y agrícolas.

Características del área de estudio

El área de estudio se encuentra localizada entre los 32°33'42" y 32° 42'23" latitud sur y los 64° 57'34" y 64°53'42" longitud oeste (Figura 1). La localidad más importante del sector es Villa Larca (957 habitantes según Indec, 2013) y el acceso se puede realizar desde la ciudad de San Luis a través de la ruta provincial N° 20, luego por ruta nacional N° 148 y por último la ruta provincial N°1, la cual recorre de sur a norte el área de estudio. La zona ha tenido en los últimos años un importante crecimiento económico, ligado principalmente a la agricultura y el turismo. Así la población del departamento Chacabuco, donde se encuentra el área de estudio, ha incrementado su población desde el censo de 1991 en un 54% (Indec, 2013).

Peña Zubiarte et al. (2005), en la carta de suelos de la hoja Concarán, definen el clima de la región como subhúmedo-seco de montaña. En dicha carta para el área de montaña se indican registros pluviométricos con valores de precipitación entre 500 y 700 mm de media anual. También señalan que las isohietas han registrado en los últimos 30 años un desplazamiento hacia el oeste debido a un crecimiento de la cantidad de precipitaciones media anual. Es importante señalar que en la parte alta de la sierra de Comechingones se registran además nieblas en verano y nieve en el invierno.

Dentro del clima de montaña Peña Zubiarte et al. (2005) identifican subunidades que se expresan de acuerdo a la topografía como a) subclima o microclima de pampas altas; b) de pampas bajas; c) de fondo de valle; d) de las quebradas y e) de las cumbres. Estas diferencias se pueden inferir por los distintos tipos de vegetación y suelos, ya que no se encuentran registros meteorológicos para establecer en forma precisa tales diferencias microambientales. La vegetación es propia de sec-

tores montañosos. Según los autores mencionados y en base al reconocimiento de campo, se puede destacar que existe una marcada diferencia entre la vegetación de altura en la altiplanicie situada entre 1.000 y 1.500 msnm, en donde por las bajas temperaturas predominan herbáceas de pastos duros, mientras que por debajo de los 1.000 msnm predomina el monte xerófilo y en las quebradas que se encuentran al abrigo de los fuertes vientos encontramos bosques con abundante vegetación herbácea.

En la porción serrana de altura mayor a 1.200 msnm no existe vegetación arbórea, predominan pajonales. Desde la localidad de Villa del Carmen hacia el norte, se observan montes bajos con predominio de chañar y caldén. Los representantes herbáceos son en su mayoría pastizales degradados con predominio de stipa. A 5 km al norte de esta localidad aparecen ejemplares de *Trithrinax campestris* (palmera). El área pedemontana ha sido desmontada en variadas extensiones para su utilización en cultivos con praderas de verano y verdes de invierno. En Villa Larca desaparece el palmar que se extiende hasta la localidad de Papagayos, donde adquiere una mayor densidad, notándose un deterioro importante asociado a incendios durante la primavera.

La sierra de Comechingones es parte del sistema de Sierras Pampeanas a las cuales Caminos (1979) las caracterizó como una unidad compuesta por un zócalo o basamento formado por metamorfitas, granitos y rocas de mezcla, de edad precámbrica a paleozoica inferior y un estilo tectónico de montañas de bloques fallados limitados por fracturas de alto ángulo. Este autor concuerda con la explicación de Gonzalez Bonorino (1950) para el mecanismo de formación de bloques como un levantamiento por vuelco o ascenso vertical asociado a la presencia de fallas inversas. Este proceso morfogenético originó uno de los rasgos más notorios de esta unidad que es la asimetría topográfica transversal conformando un paisaje de bloques asimétricos que presentan la vertiente occidental escarpada y la oriental con pendiente más suave (Costa et al., 1998)

Las fracturas más importantes tienen dirección meridiana, en coincidencia con las principales estructuras internas del basamento y con la elongación en planta de la sierra. El sistema de fallas de Comechingones presenta un rumbo general NNO y constituye el frente de levantamiento andino de la sierra homónima. Este sistema de fallas de muy alto ángulo y caracterizado por diferentes secciones de fallas inversas presenta características geométricas difíciles de analizar debido a la abundante sedimentación de material aluvial que generalmente se pulpa su trazo (Costa et al., 1998).

En el área bajo análisis, la sierra alcanza su máxima altura en los 1.900 msnm, el cual también marca el límite geográfico entre las provincias de San Luis y Córdoba, desde allí desciende abruptamente hacia el oeste hasta aproximadamente los 1.100 msnm en el piedemonte, en solo 2,8 km. Esto origina laderas de fuerte pendiente con valores predominantes entre 33 y 40 %.

Si bien la Sierra de Comechingones se compone de un basamento ígneo-metamórfico, con una estructura interna con rumbo predominante NNE-SSO, las cuencas del río Seco y del arroyo El Tala se han desarrollado íntegramente sobre el plutón granítico denominado "El Talita", de composición

predominantemente monzogranítica (Pinotti, 1999), mientras que la cuenca del río Papagayos, presenta un sector desarrollado sobre el mencionado batolito, su parte más austral lo hace sobre el basamento metamórfico.

Los arroyos que drenan la ladera occidental de la Sierra de Comechingones forman parte de la cuenca del río Conlara. Son cursos cortos, de poco caudal, con carácter permanente en las zonas altas de las cuencas, pero que se transforman en temporarios cuando ingresan al piedemonte ya que infiltran sus aguas, por la presencia de fracturas y fallas de rumbo principalmente norte-sur, a solo 300 m del frente serrano.

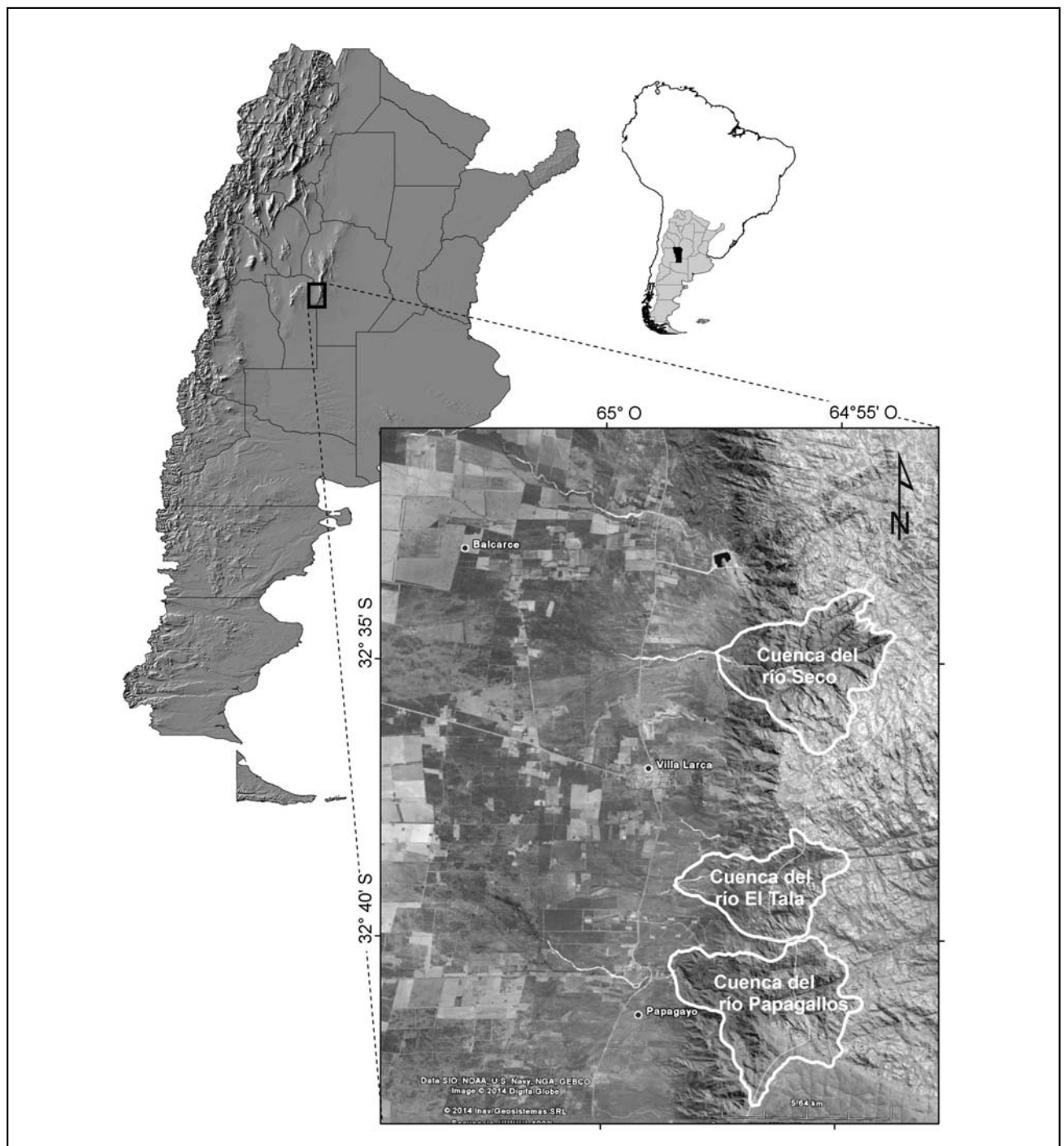


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

METODOLOGÍA

Los datos utilizados para la caracterización morfométrica fueron generados a partir del procesamiento de Modelos Digitales de Elevación (DEM) obtenidos por el sensor ASTER (GDEM). Estos presentan una resolución espacial de 30 m y fueron procesados mediante SIG para la obtención de diferentes parámetros morfométricos. La delimitación de las cuencas y el trazado de la red de drenaje se realizó en base a fotointerpretación de imágenes satelitales brindadas por el sistema Google Earth© (GE), los cuales fueron posteriormente controladas en el terreno mediante Sistemas de Posicionamiento Global (GPS). Para el análisis de las características morfológicas se consideró como límite inferior de las cuencas su desembocadura en el piedemonte serrano. Las descripciones morfométricas de las cuencas hídricas seleccionadas se llevaron a cabo mediante la estimación de diecisiete variables que representan propiedades inherentes al sistema fluvial. Los parámetros considerados se agruparon en tres grupos principales: A) parámetros de forma, B) de relieve y C) de la red de drenaje. Seguidamente se describen los parámetros calculados y su utilidad en el estudio realizado:

A) Parámetros de forma:

La forma de la cuenca ha sido comparada con diferentes formas geométricas (ideales). Representan la configuración geométrica tal y como está proyectada sobre un plano horizontal (Llamas, 1993), y la forma gobierna la tasa a la cual se suministra el agua al cauce principal, desde su nacimiento hasta su desembocadura (González de Matauco, 2004).

Coficiente de Compacidad o índice de Gravelius (Ic): representa la relación entre el perímetro de la cuenca y el de un círculo con igual superficie. Brinda información sobre la fuerza de las crecidas, al menos en la desembocadura del curso, y de la onda de crecida. Puede ser un indicador para prevenir inundaciones. Se calcula con la fórmula:

$$Ic = 0.28 P / \sqrt{S}$$

Donde: P= perímetro
S= superficie

Este índice cuando más cerca esta de la unidad indica que la cuenca tiene forma circular, es más compacta y a medida que el índice aumenta la cuenca tiene forma más ovalada. Para analizar los resultados se utilizó la clasificación de Campos (1992).

Razón de elongación (Re): es la relación entre el diámetro de un círculo con igual área que la de la cuenca y la longitud máxima de la misma, y describe un aspecto de la organización de la red de drenaje. Puede dar indicios sobre el relieve y las pendientes y también puede ser determinante para hacer predicciones de posibles contingencias meteorológicas en la desembocadura.

La fórmula utilizada es la propuesta por Schumm (1956):

$$Re = (1.128 \sqrt{A}) / Lc$$

Donde: Lc= longitud del cauce principal de la cuenca
 \sqrt{A} = raíz del área de la cuenca

Esta fórmula es muy utilizada por que es la que mejor correlación guarda con la hidrología de la cuenca. Analiza la relación del área con el cauce principal que la drena. Valores próximos a la unidad indican formas redondeadas y cuanto menor sean a la unidad, la cuenca tendrá forma más alargada (lo cual influye en el tipo de descarga luego de las lluvias).

Factor de forma (F): propuesto por Horton (1945) relaciona el área de la cuenca y la longitud de la misma. Da información de la relación entre la morfología de la cuenca y sus caudales tipo. Intenta evaluar la elongación de una cuenca de drenaje. Es un factor a dimensional.

Se expresa mediante la fórmula:

$$F = A / L^2$$

Donde: A= área

L= Longitud de la cuenca

Los valores inferiores a la unidad indican cuencas alargadas y aquellos cercanos a uno cuencas redondeadas. Del mismo modo que F y Lc influye en el caudal de la crecida.

Tamaño de la cuenca: tiene relación directa con el caudal de descarga. En este trabajo se utiliza la clasificación propuesta de Campos (1992) basada en la superficie de la misma.

B) Parámetros de relieve:

La geología y la topografía determinan las características físicas de la cuenca. La topografía nos indica desniveles, orientaciones y pendientes que se obtienen a partir de mapas topográficos o de un modelo digital del terreno. La pendiente de la cuenca es una propiedad que nos da información de la velocidad de la escorrentía y sus hidrogramas, por lo tanto, aquellas de mayor pendiente tienden a responder más rápidamente a la precipitación incrementando los caudales de punta (Horton, 1945; Strabler, 1964).

Pendiente media de la cuenca (J): permite hacer comparaciones entre cuencas para analizar fenómenos erosivos que se expresan en la superficie.

Se expresa en porcentaje y su fórmula de cálculo:

$$J = 100 \{ [(\sum Li) E] / A \}$$

Donde

J: pendiente media de la cuenca (%)

$\sum Li$: sumatoria de las longitudes de las curvas de nivel (km)

E: equidistancia entre curvas de nivel (km)

A: superficie de la cuenca (km²)

Elevación media o análisis hipsométrico: La curva hipsométrica permite estimar el estado de equilibrio dinámico potencial de la cuenca, bajo la hipótesis de que esta función relaciona altitud con área, por lo tanto, cambia con el tiempo a medida que la cuenca sufre erosión. No obstante otros autores atribuyen relevancia a la actividad diferencial entre los procesos de construcción tectónica y degradación por erosión, actividades no necesariamente relacionadas con la edad de la cuenca.

Perfil longitudinal del río: este parámetro permite analizar el estado de equilibrio de la cuenca en base a la capacidad erosiva del mismo en sus partes principales (superior, media e inferior) a través del estudio de la pendiente del propio río. Indica la relación entre la distancia recorrida por un río desde su nacimiento y la altura relativa de cada punto de dicho perfil. Se mide sobre la línea de vaguada (thalweg) de un río o valle, es decir, sobre la línea que recorre los puntos más bajos del cauce de ese río o del fondo del valle o cauces secos en el caso de arroyos.

C) Parámetros de la Red de Drenaje:

Se consideran parámetros que influyen en la formación y rapidez del drenado, aportan también idea sobre las condiciones físicas del suelo y de las superficies de las cuencas.

Densidad de Drenaje (Dd): se calcula como el cociente entre la longitud total de los cauces de una cuenca y el área total del drenaje, (Horton, 1945). La densidad del drenaje afecta a la escorrentía de modo tal que con mayor densidad, la escorrentía recorre la superficie rápidamente, disminuyendo el tiempo de concentración y aumentando el pico de crecida, al haber menor infiltración.

La fórmula de cálculo usada:

$$Dd = \Sigma L / A$$

Donde:

Dd (en km/km²)

ΣL: sumatoria de Longitud total de los cauces, en km

A: área de la cuenca, en km²

Pendiente media del cauce principal (i): es un indicador importante del grado de respuesta de un cauce ante una tormenta. Como esta varía a lo largo del cauce se la obtiene como un valor medio ponderado por la distancia de la pendiente.

Tiempo de concentración (Tc): tiempo que tarda una gota de agua de lluvia en llegar desde el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca a la sección de salida. En una cuenca hidrográfica el comportamiento del hidrograma será similar al de un hidrograma de agua que escurre por un canal, sólo que en este caso parte del agua se infiltraría en el suelo y la escorrentía comenzaría tras la saturación del suelo: para una lluvia de intensidad constante el caudal en la salida irá aumentando a medida que vaya llegando el agua de escorrentía procedente de puntos hidrológicamente cada vez más alejados, manteniéndose constante a partir del momento en el que el punto más alejado ya esté aportando agua a la salida.

Este factor depende del tamaño, del relieve y la forma de la cuenca (a mayor tamaño mayor Tc, a mayor pendiente menor Tc) y las formas alargadas presentan menores Tc que las aplastadas (con menor diferencias de pendiente).

Fórmula de cálculo:

$$Tc = (4 \sqrt{S} + 1,5 \cdot L) / (0,8 \cdot \sqrt{H})$$

Donde

Tc: tiempo de concentración, en horas

S: área de la cuenca, en km

L: longitud del cauce principal, en km

H: elevación media de la cuenca, en km

Orden de la corriente: Para la jerarquización de la red de drenaje se utiliza el método de Strahler (1964) que se aplicó a partir de la jerarquización de los cauces. Esto permite establecer un orden jerárquico entre los cursos y establecer otros parámetros como la relación de bifurcación.

Razón o coeficiente de bifurcación (Rb): relaciona los números de cauce de un orden con el número de cauces del orden inmediatamente superior. Esta variable es importante para describir el comportamiento del sistema fluvial (Horton, 1945).

Los valores de Rb > 4 indican una torrencialidad moderadamente alta (Strahler, 1964). Un Rb alto produce un pico bajo pero extendido. Los valores de Rb bajo se asocian con cuencas muy bien drenadas que pueden generar a su vez crecidas más violentas,

Fórmula de cálculo:

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

Donde: Un es el número de orden de cada cauce

Resultados

Por su tamaño y en función de la clasificación de Campos (1992), las cuencas estudiadas pueden ser clasificadas como "cuencas muy pequeñas" (<25 km²).

En todos los casos, las redes de drenaje muestran un fuerte control de las estructuras de deformación frágil asociadas a las rocas del basamento cristalino, particularmente al diaclasamiento y/o fracturas desarrolladas en los cuerpos graníticos, con direcciones predominantes NNO, NE-SO y E-O. Esto determina el predominio de patrones de drenaje subrectangulares, a veces hasta en enrejado y en menor proporción subdendrítico, con una densidad de drenaje bien drenadas (Figura 2).

Los valles fluviales principales se encuentran marcadamente encajados mientras que sus tributarios son poco profundos, a veces con fondo plano debido al relleno aluvial-coluvial y en algunos sectores de naturaleza loessoides. En su recorrido hacia el oeste, las aguas que descienden por la ladera se insuermen en las proximidades al frente montañoso, solo durante las crecidas en épocas de lluvias se mantienen en superficie hasta infiltrarse unos 4 a 5 kilómetros al oeste.

En relación a los parámetros de forma se establece que los valores de Coeficiente de Compacidad obtenidos entre 1,32 y 1,40 (Tabla 1), indican según la clasificación de Campos (1992) cuencas de clase II, es decir de forma oval redonda a oval oblonga. Ello da cuenta de cuencas medianamente compactas. Estos valores, próximos a 1, señalan tendencia a concentrar fuertes volúmenes de agua de escurrimiento y por esto el pico de la crecida será más acusado aunque demore más en llegar.

La Razón de Elongación muestra valores entre 0,59 y 0,62 (ver Tabla 1), lo cual indica cuencas medianamente alargadas, y según Senciales y Ferre (1992), relieves con pendientes pronunciadas.

Los valores obtenidos para el Factor de Forma varían entre 0,35 y 0,48 lo que también indica la forma alargada de las cuencas.

En suma, la comparación de las tres cuencas analizadas en relación con los parámetros de forma (Tabla 1) indica que las mismas presentan características similares. Analizados los coeficientes de compacidad, elongación, el factor de forma y su tamaño se las puede caracterizar como de forma ovalo-redonda a oval-oblongas, más bien ovaladas y de tamaño muy pequeñas, lo que indica una tendencia a la crecida que puede categorizarse en forma relativa como media (según clasificación de Campos, 1992).

Las pendientes muestran valores promedios de $40 \pm 23\%$ para la cuenca del río Seco, $38,5 \pm 22\%$ para la cuenca de Papagayos y de $32,6 \pm 23\%$ para la cuenca de El Tala lo cual indica un relieve accidentado, que favorece la velocidad de la corriente.

El análisis de los perfiles longitudinales muestra pendientes diferenciadas y en general se reconocen resaltos que indican situaciones de desequilibrio en las cuencas, lo que permite una separación de los cursos en tres tramos principales asociados a sus sectores bajo, medio y alto (Figura 3).

Los perfiles de los ríos Papagayos y El Tala, cuyas cuencas se encuentran próximas entre sí, presentan un tramo inferior con suave pendiente (3% aproximadamente) a lo largo de unos 2000 m, hasta alcanzar un resalto de 40 m de altura en el caso del primero, y de aproximadamente 100 m en el segundo. El río El Tala muestra el perfil con mayores irregularidades.

En su tramo inferior y hasta el resalto de 40 m previamente mencionado, el río muestra una mayor incisión de su cauce que el río Papagayos. A partir de estos resaltos se alcanza un tramo medio en ambos cursos donde la pendiente es aproximadamente de 7%. La misma continúa por unos 1500 m aguas arriba en el caso del río Papagayos, hasta un resalto de aproximadamente 54 m, desde donde se inicia el tramo superior con una pendiente predominante de 19%. Esta última parte del perfil presenta en los 500 m finales una disminución de la pendiente, probablemente coincidente con remanentes de una antigua superficie de erosión. En el caso del río El Tala, su tramo medio, es más largo que el del río Papagayos, extendiéndose uno 1000 m más. Esto es consecuencia de una mayor incisión del río El Tala, que en algunos tramos presenta una diferencia de hasta 200 m de desnivel respecto al tramo superior del río Papagayos. A la altura del tercer resalto importante del río El Tala, este desnivel de la línea de vaguada (thalweg) disminuye unos 100 m, tomando prácticamente la misma pendiente característica del tramo final del río Papagayos.

El perfil longitudinal del río Seco es el más simple, con los tramos bajo y medio con pendientes aproximadamente similares, lo que impide una clara diferenciación entre ambos. En esta situación debemos considerar que todo el perfil longitudinal se encuentra desplazado más al Este en relación al de los ríos Papagayos y El Tala. El perfil es más suave, con dos resaltos de menor magnitud que la de los perfiles anteriores, lo que permite diferenciar igualmente tres tramos principales (bajo, medio y alto).

Tabla 1. Análisis comparativo de parámetros de las Cuencas del río Seco, El Tala y Papagayos.

Parámetro Evaluado/Cuenca	Río Seco	Papagayos	El Tala
Superficie	17,228 km ²	18,986 km ²	11,45 km ²
Perímetro	19,661 km	21,873 km	15,978 km
Pendiente media de la cuenca	40,59 %	38,10 %	33,10 %
Pendiente media del curso principal	11,20 %	9,91 %	9,90%
Jerarquizado de cauces (Strahler)	5	5	5
Diseño de drenaje	subdendrítico	Subrectangular a subdendrítico	Subrectangular, en parte en enrejado
Longitud de la totalidad de los cauces	73,307 km	80,606 km	53,084 km
La frecuencia de los cauces (densidad)	128-1;42-2;23-3; 2-4; 1-5	182-1; 80-2;13-3; 2-4; 1-5	108-1; 19-2;6-3;2-4; 1-5
Coefficiente de bifurcación	4,595	4,232	3,462
Densidad de Drenaje	4.255 km ⁻¹	4.258 km ⁻¹	4.636 km ⁻¹
Longitud de la cuenca	5,946 km	6,386	5,731
Longitud del cauce ppal.	7,593 km	7,995 km	6,377 km
Coefficiente de Compacidad de Gravelius	1,33	1,40	1,32
Razón de Elongación	0,617	0,614	0,598
Factor de Forma (Horton)	0,487	0,465	0,348
Tiempo de concentración	8,571 h	8,666 h	7,727 h
Elevación Media	1,527 km	1,452 km	1,383km

El análisis de las curvas hipsométricas permite señalar que en general las cuencas se encuentran en un estado próximo a la madurez desde el punto de vista de su actividad morfogenética y en relación de equilibrio con los procesos de erosión. Se destaca, sin embargo, un mayor acercamiento a dicha condición en las partes bajas de las cuencas y por el contrario, un alejamiento en los tramos altos, donde se aproxima más a la juventud (Figura 4). En particular, la cuenca del río El Tala es la que presenta un comportamiento más anómalo, del tipo sinusoidal, con un acercamiento en la cuenca baja a la curva relativa de la vez y en la alta, a la juventud.

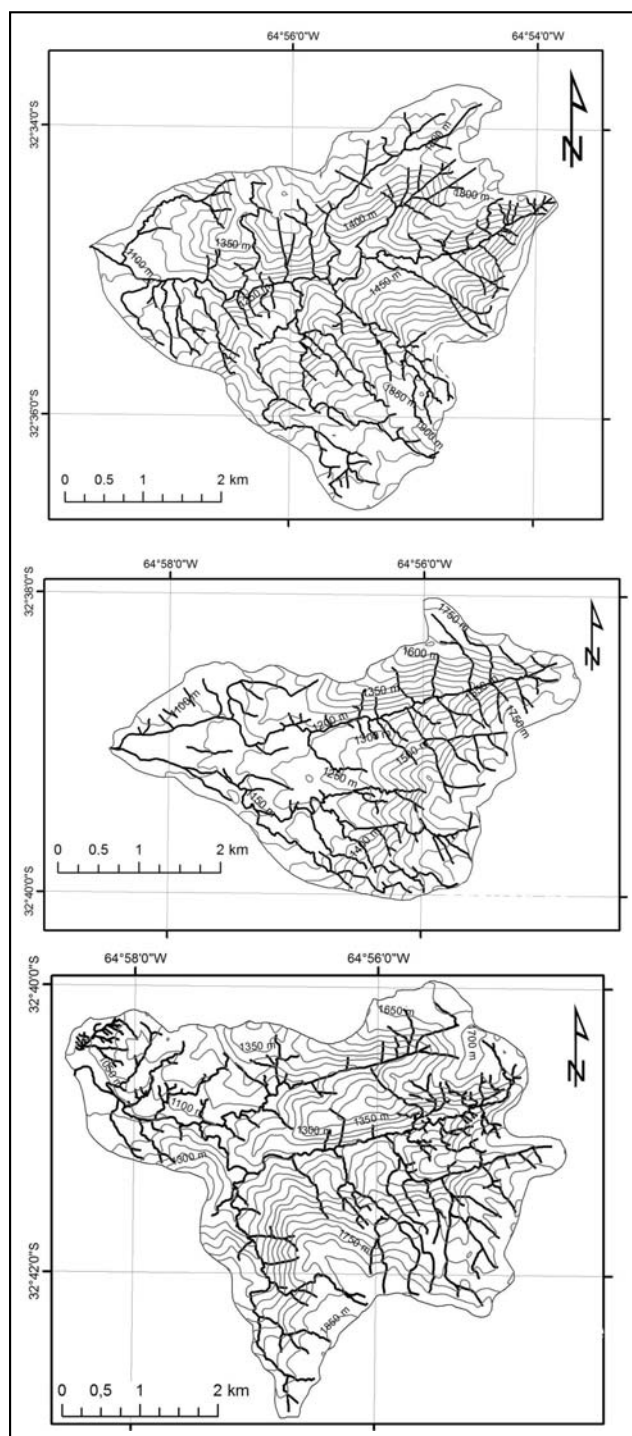


Figura 2. Red de drenaje y relieve. A) Cuenca río Seco, B) Cuenca río Papagayos y C) Cuenca río El Tala.

Se considera de esta manera que las cuencas se encuentran en la etapa juvenil de desarrollo según la clasificación de *Strahler (1952)*, dominando los procesos de erosión, particularmente aquellos asociados al desarrollo de las laderas (deslizamientos, reptación, erosión laminar y en surcos), principalmente en las zonas de cabeceras.

El análisis de las jerarquías de drenaje según la propuesta de *Strahler (1964)* indica que las tres cuencas son de orden 5. En igualdad de condiciones en relación al área, al clima y sustrato, cuanto más alto es el orden de la cuenca mayor es su grado de desarrollo fluvial (*Horton, 1945*). Por lo tanto en las cuencas medidas hay un desarrollo fluvial parecido aunque se debe aclarar que el sustrato de la cuenca del río Papagayos no es solamente ígneo-plutónico (monzogranítico) sino que presenta su sector sur labrado sobre rocas metamórficas.

La densidad del drenaje de las cuencas varía entre 4,25 a 4,65 km⁻¹ (tabla 1), lo cual indica una red de drenaje eficiente, con cuencas bien drenadas, sobresaliendo la del río El Tala. La densidad del drenaje afecta a la escorrentía, de esta manera en zonas con estos valores de densidad, esta recorre la superficie rápidamente, disminuyendo el tiempo de concentración y aumentando el pico de crecida, al haber menor infiltración.

La pendiente media del cauce principal en las cuencas estudiadas varía de 9,9 % a 11,2%, lo cual favorece el desarrollo de flujos encauzados en periodos de lluvia.

La razón de bifurcación más elevada corresponde a la cuenca del río Seco con 4,59 y la del río El Tala con 3,46. Estos valores indican que la torrencialidad de las cuencas es media (*Strahler, 1964*), siendo la de río Seco moderada a alta comparándola con las otras cuencas, todas de igual orden (5).

Los índices bajos a medios de torrencialidad como en este caso, suelen relacionarse con redes fuertemente ramificadas, lo que repercute directamente ante fuertes precipitaciones en ondas de crecidas rápidas.

El tiempo de concentración arrojó valores para las cuencas entre 7,73 y 8,57 horas. El menor valor de este parámetro fue para la cuenca de El Tala lo que indica que por el tiempo de tránsito tendrá una menor infiltración de agua y un mayor poder erosivo superficial.

Conclusiones

La comparación de las tres cuencas en relación a los parámetros de forma que relacionan el movimiento del agua y la respuesta de la cuenca, muestra que las mismas presentan características similares. Son cuencas pequeñas de forma oval-redonda a oval-oblongas, más bien ovaladas, lo que muestran una tendencia a las crecidas media.

Los parámetros de relieve indican que las cuencas presentan pendientes medias con valores entre 33 y 40 % aproximadamente, lo que indica un relieve para la zona accidentado, que favorece la escorrentía y la velocidad de la corriente. Considerando el análisis de los perfiles longitudinales y las curvas hipsométricas (Figuras 2 y 3) se concluye que las cuencas se encuentran en la etapa juvenil de desarrollo según clasificación de *Strahler (1952)*, dominando los procesos de erosión, particularmente aquellos asociados al desarrollo de las laderas (deslizamientos, reptación, erosión laminar y en surcos), principalmente en las zonas de cabeceras. La cuenca del río Papagayos es la que muestra el mayor estado de desequilibrio, le sigue en este sentido la de El Tala, y luego la del río Seco.

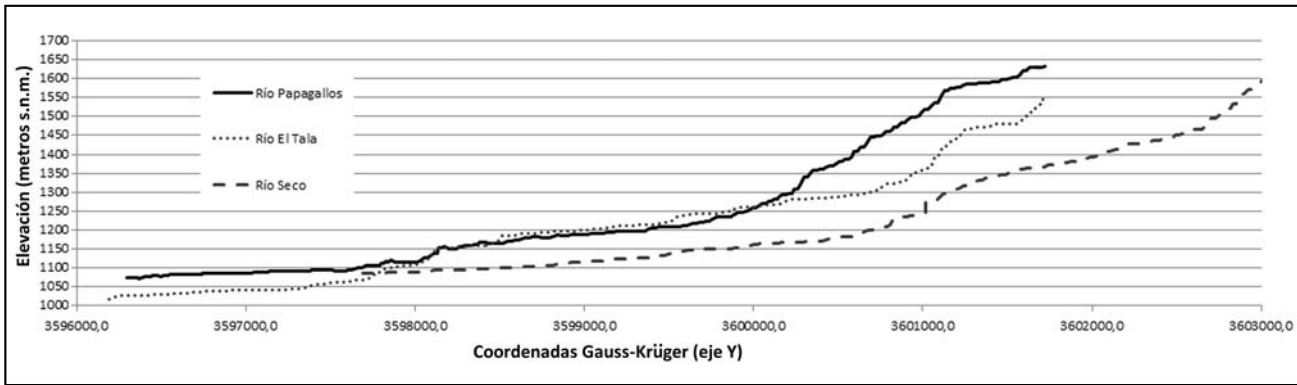


Figura 3. Perfiles longitudinales de los ríos Seco, El Tala y Papagallos (Escala vertical exagerada).

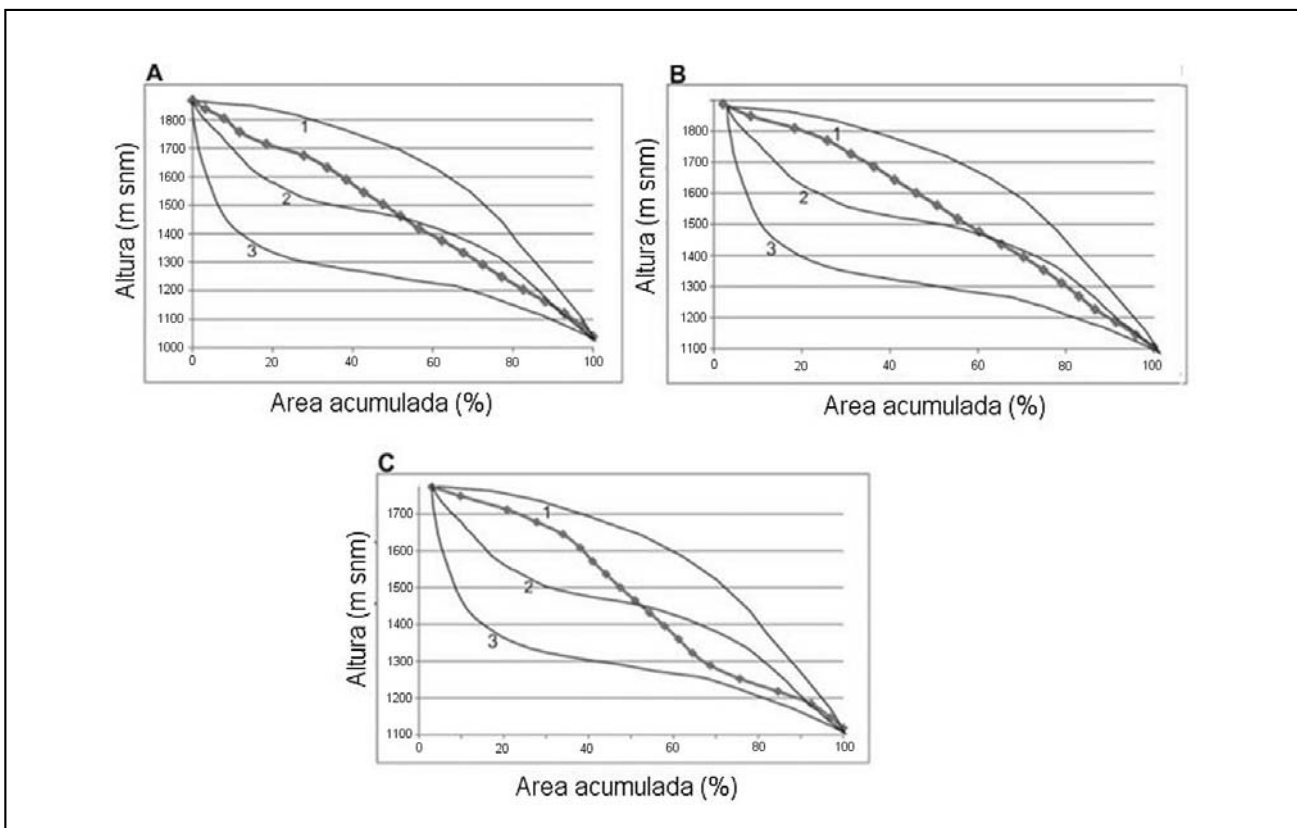


Figura 4. Curvas hipsométricas para las cuencas de: A) Papagallos, B) Río Seco y C) El Tala. Etapas de evolución de una cuenca: 1-juventud, 2- madurez, 3- vejez.

Del análisis de la red de drenaje se concluye que las cuencas son de orden 5, indicando un grado de desarrollo fluvial medio, muy parecidas entre sí, aunque se debe considerar que el sustrato para la cuenca del río Papagalayo presenta en su sector sur rocas de origen metamórfico. Son cuencas eficientemente drenadas, lo que hace que la escorrentía recorra rápidamente la superficie, disminuyendo el tiempo de concentración y aumentando el pico de crecida por menor infiltración. Los coeficientes de bifurcación indican que la torrencialidad de las cuencas es media, y que coeficientes de bifurcación entre 3 y 5 corresponden a cuencas de montaña.

El análisis morfométrico de las cuencas y de la red de drenaje indica el carácter relativamente peligroso que presentan las

cuencas en función de la topografía, la litología y sus morfologías. Las pendientes elevadas y la poca permeabilidad dada por la litología ígnea-metamórfica se combinan para regular escasamente el funcionamiento hidrológico de las cuencas. La forma de las cuencas y sus características morfométricas indican una media a buena capacidad de drenaje en las cuencas frente a un evento pluviométrico destacado.

Si bien la interpretación de los índices morfométricos deben tomarse con cuidado ya que pueden simbolizar valores subjetivos, brindan un panorama general que ayuda a formar diversos contextos para prevenir riesgos y tomar medidas para preservar los recursos naturales de la zona.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CAMINOS, R. 1979.
Sierras Pampeanas Noroccidentales Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan.
2º Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias 1, p. 255-291, Córdoba.
- CAMPOS, A., 1992.
Proceso de Ciclo Hidrológico.
Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 1era edición, México.: 22-23.
- COSTA, C., ORTIZ SUÁREZ, A., GARDINI, C., CHIESA, J., OJEDA, G., STRASSER, E., ESCAYOLA, M., KRAEMER, P., ULACCO, H., MORLA, P., ALMANDOZ, G. Y CONIGLIO, J. 1998.
Hoja Geológica 3366-II, Santa Rosa, provincias de San Luis y Córdoba, Escala 1:250.000.
Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 373, en Cd.
- CUESTA, M.J., 2001.
Dinámica erosiva en los paisajes de la cuenca del río Guadajoz (Córdoba y Jalén), Córdoba,
Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. 226 p. España
- GONZÁLEZ BONORINO, F. 1950.
Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas.
Revista de la Asociación Geológica Argentina 5(3): 81-110. Buenos Aires.
- GONZÁLEZ DE MATAUCO, S. 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:G:E: N° 38, 311-329.
- GORDILLO, C. Y LENCINAS, A. 1979.
Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. En Leanza, A.P. (ed.) Geología Regional Argentina.
Academia Nacional de Ciencias 1: 577-650, Córdoba.
- HORTON, R. E., 1945.
Erosional development of stream and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology.
Geological Society of America Bulletin, 56: 275-370.
- INDEC., 2013.
Estructura de la población provincia de San Luis.
Disponible en <http://www.estadistica.sanluis.gov.ar.../Contenido/.../InformeEstructuraPob.pdf>, último acceso 5 de agosto de 2014.
- LLAMAS, J., 1993.
Hidrografía General, Principios y Aplicaciones.
Servicio editorial de la Universidad del país Vasco. 402 p. Bilbao, España.
- PEÑA ZUBIATE, CARLOS A. Y ALBERTO D'HIRIART (COORDINADORES), 2005.
Carta de suelos de la República Argentina hoja Concarán provincia de San Luis escala 1:100000.
INTA, Gobierno de la Provincia de San Luis.
- PINOTTI, L., 1999.
El batolito Cerro Áspero, provincia de Córdoba, Modelo de intrusión y su relación con la evolución de las Sierras Pampeanas.
Informe final de Beca de Perfeccionamiento del CONICET. 203 p.
- SCHUMM, S.A., (1956).
Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth-Amboy.
New-Jersey. Geo. Soc. Am. Bull., :597-646.
- SENCIALES, J.M. Y FERRE, E., 1992.
Análisis morfométrico de la cuenca del río Benamargosa (provincia de Málaga), En López Bermúdez, F.; Conesa, C. y Romero, M.A. (Eds.): Estudios de Geomorfología en España.
Actas de la II Reunión Nacional de Geomorfología, Murcia, S.E.G., pp. 365-375.
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL., 1980.
Estadísticas climatológicas 1951-1960, 1961-1970, 1971-1980.
Buenos Aires.
- SHUMM, S., 1956.
The fluvial system. A Wiley-interscience Publication.
John Wiley and Sons, Inc. New York. 338 pp.
- STRAHLER, A. N., 1952,
Dynamic basis of geomorphology,
Geol. Soc. Amer. Bull., vol. 63 : 923-938.
- STRAHLER, A. N., 1964.
Quantitative geomorphology drainage basins off networks.
En: Chow V (ed). Handbook of Applied Hydrology. Mac Graw Hill. New York – USA. Mac Graw Hill.