

GEOMORFOLOGÍA FLUVIAL DEL RÍO SAN ANTONIO. PROVINCIA DE CÓRDOBA. ARGENTINA

Carlos Beltramone
Centro de la Región Semiárida – CONICET. Medrano 235 Villa Carlos Paz. Córdoba
E-mail: carlosbeltramone@arnet.com.ar

RESUMEN

La morfología fluvial de la cuenca del río San Antonio, esta condicionada a factores litológicos del sustrato rocoso, por la influencia de la tectónica Andina y por la evolución cuaternaria. La red de drenaje de orden 5 cumple con los conceptos teóricos de Horton. Los parámetros geométricos indican una fuerte respuesta de la cuenca frente a las precipitaciones y el bajo valor de la densidad de drenaje esta de acuerdo con las características físicas de la cuenca. Los parámetros observados podrían ser representativos a la mayoría de las cuencas fluviales de la sierra Pampeana de Córdoba.

Palabras claves: morfología fluvial, morfometría, cuenca hidrográfica, río San Antonio, Sierra Pampeana, Córdoba

ABSTRACT

The fluvial morphology is conditioned by the litological variety of the Paleozoic bedrock, by the Andine Tectonic influence and by the Quaternary evolution of the area. The fluvial network, with a 5 order, fits to the theoretical Horton principles. The geometrical parameters suggest a quick rainfall response, the low value of the drainage density is according to the physical basin features. Thus observed parameters may be found in other fluvial system of Sierra Pampeana, Cordoba.

Key words: Fluvial morphology, morphometrical, fluvial basin, San Antonio river, Sierra Chica, Córdoba

INTRODUCCIÓN

Se trata de explicar la evolución fluvial de la cuenca del río San Antonio desde sus cabeceras hasta su desembocadura en el Lago San Roque, para lo cual se han estudiado diferentes aspectos tales como; parámetros morfométricos, distribución de frecuencia de algunos atributos físicos (altitud, pendiente, exposición), litología y el perfil longitudinal del río principal.

La geomorfología del área responde esencialmente a las características de un sistema fluvial torrentoso, con una fuerte incidencia en los procesos de gravedad, algunos de los cuales siguen funcionando en la actualidad (Beltramone 2005).

Se han podido determinar dos tramos en el cauce principal con una dinámica fluvial diferente; el primero es el comprendido desde sus cabeceras hasta el C° Medio de los Ríos en la que confluyen los principales afluentes del río principal tales como los ríos Cajón y Malambo, zona donde los cauces se hallan muy encajados y condicionados por una densa red de fracturas y afloramientos rocosos, en este tramo es donde se ha notado una mayor energía fluvial para el transporte de sedimento y una mayor dispersión de los mismos. En el segundo tramo se produce una disminución en la pendiente del perfil longitudinal del río principal -no así en algunos de sus afluentes- donde hay un progresivo ensanchamiento del cauce y una mayor selección en la acumulación de los sedimentos.

En cuanto a la capacidad de producción de sedimentos la cuenca se comporta con las características de un macizo rocoso dentro de un clima mediterráneo en el que predominan las acciones mecánicas sobre las químicas, siendo los procesos de remoción en masa y las cabeceras activas de los cauces los que aportan gran cantidad de sedimentos a los cauces en forma instantánea.

MARCO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

La cuenca del Río San Antonio está situada dentro de la cuenca del Río Primero, en la porción central de la Provincia de Córdoba. Se localiza entre 30° 55' y 31° 30' de latitud sur y 64° 30' y 64° 50' de longitud oeste (Figura 1), abarcando una superficie de 495 km². Está delimitada por una divisoria irregular que en el sector occidental coincide con la divisoria de agua de las sierras Grande y de Achala, en el sector oriental está dada por la Sierra Chica al

sur por el Cordón de Santiago y norte por los escalones que descienden de la Sierra Grande.

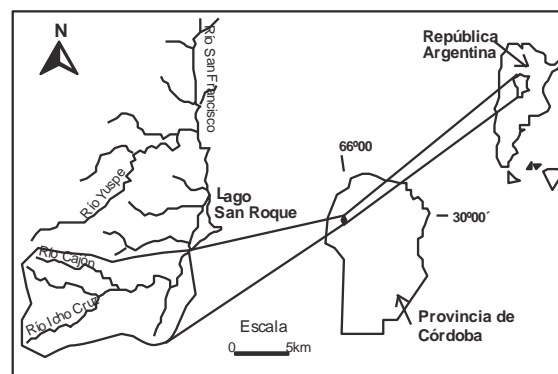


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

La red de drenaje está compuesta por un colector principal que en su mayor tramo lleva el nombre de río Icho Cruz, tomando el nombre de río San Antonio próximo a su desembocadura en el Lago San Roque y un gran número de afluentes, siendo los principales los ríos Cajón, Malambo y A° San Antonio.

El clima es de tipo submediterráneo, con importantes contrastes térmicos, con un máximo pluviométrico en el mes de diciembre de 196 mm y un mínimo en el mes de agosto de 3.76 mm. La precipitación anual supera los 1200 mm por encima de los 2000 m de altitud, para el año hidrológico 1999 – 2000, (según el Sistema Telemétrico CIRSA en Colladon, 2000). La temperatura media anual es de 12,4 °C, alcanzándose una máxima media mensual de 23,2 °C y mínima media mensual de 5,9 °C (Colladon, 2004). La superficie cubierta por vegetación, esencialmente pastizales y monte bajo, llega a ser del 75%.

La organización litológica - estructural del área está representada por afloramientos paleozoicos, desplazados y fracturados, intrusiones graníticas, y terrenos cenozoicos. El zócalo paleozoico está constituido esencialmente por gneises, esquistos tonalíticos-biotíticos, cuarcitas micáceas, anfibolitas, mármoles y filitas, que sufrieron procesos de inyección aplítico-pegmatíticos, ocurridos según Olsacher (1960) con anterioridad a la intrusión granítica. El estilo tectónico del basamento es predominantemente homoclinal con buzamientos de mediano a alto ángulo de 40° a 80° hacia el este (según Gordillo y Lencinas, 1979). La alineación estructural predominante es en sentido meridional a noroeste.

Algo más de la mitad de la cuenca se inscribe en

terrenos graníticos de dimensiones batolíticas que corresponden a intrusiones postmetamórficas, las que (según Linares y Latorre, 1970) corresponderían a tres ciclos magmáticos; el primer ciclo correspondiente al Cámbrico inferior, Ordovícico superior (450 – 520 Ma), el segundo ciclo al Devónico inferior-medio (352 – 380 Ma), por último el tercer ciclo al Carbónico superior (300 – 330 Ma). El Cuaternario está constituido por los fanglomerados de piedemonte correspondiente al Pleistoceno superior y al Holoceno respectivamente. Al igual que en el resto de las sierras Pampeanas de Córdoba la disposición de las principales alineaciones montañosas esta relacionada con la presencia de fallas inversas como respuesta a la actividad tectónica acaecida durante el terciario.

Los rasgos del relieve de la cuenca del río San Antonio deben su origen a la tectónica y a la actuación de procesos fluviales y de gravedad, los que ya han sido estudiados por Schmieder (1921), Barbeito et al. (2000) y Beltramone et al. (2003).

Las unidades de relieve se describirán a continuación:

Relieve elaborado sobre rocas graníticas: El macizo granítico y sus escalones marginales ocupan las posiciones más elevadas del área de estudio, estando constituido de sur a norte por las Cumbres de Achala y la Sierra Grande, donde sobresalen los cerros Los Gigantes (2376 m), C° Los Lisos (2310 m) y C° El Alto (2300 m). Presenta un relieve repetitivo debido a su homogeneidad litológica y con características de alta energía. Las áreas graníticas que no ocupan las partes más elevadas de la región se presentan con moderado a alto grado de disección. La superficie de Pampa de Achala está ubicada entre los 2000 y 2200 m.s.n.m. Es el sector conocido como pampas altas (peneplanicie) cortadas por valles anchos y poco profundos. Esta superficie se estrecha sensiblemente al oeste y remata en los Cerros Los Gigantes (2400 m.s.n.m).

Relieve en gneis y esquistos de la Sierra Chica: Forma la divisoria de cuenca en su margen oriental, que frente al ambiente granítico estos terrenos metamórficos sobreelevados por la orogenia andina originan una topografía mucho más abrupta, caracterizado por su paisaje quebrado y su línea de cumbre algo irregular. En este ambiente al margen de la resistencia de las rocas, las fracturas controlan la organización de la red de drenaje y acentúan la acción erosiva de los agentes morfogénicos.

Relieve elaborado en rocas esquistosas: Hacia el este del cerro Los Dos Ríos en contacto con los granitos

y hasta el A° San Antonio afloran esquistos conformando un relieve de bloques a menor altitud donde tuvo importante participación la constitución geológica del material aflorante (estructura y litología) que condicionaron la implantación de la red de avenamiento y la formación de filos y crestones.

METODOLOGÍA

Se ha elaborado una base cartográfica a escala 1:50.000 que incluye la red hidrográfica y las formas fluviales, para el análisis morfométrico fueron utilizados los mapas de pendientes, hipsometría y orientación realizados por Beltramone (2005). La red de drenaje y la topografía ha sido digitalizada y transferida a un Sistema de Información Geográfica. A partir de esta cartografía se han realizado distintos perfiles topográficos.

El análisis morfométrico a sido siguiendo los parámetros propuestos en los trabajos de (Horton, 1945; Strahler, 1952, 1979). Los parámetros analizados son de caracteres lineales, topológicos, geométricos y de relieve. La utilización de distintos programas mediante el uso de un ordenador ha permitido la obtención en forma sencilla de parámetros estadísticos relativos a pendiente, orientación, longitud de cauces etc., que componen la red hidrográfica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizan una serie de aspectos relacionados con la dinámica fluvial que presenta la cuenca desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo: la red hidrográfica y los parámetros de intensidad fluvial.

Las Formas fluviales

Entre las formas fluviales existentes en la cuenca del río San Antonio se encuentran formas torrenciales, valles, terrazas y llanuras aluviales cuyas características se describen a continuación.

Las formas torrenciales: Se entiende por “torrente” a aquella corriente de agua de régimen temporario o permanente, en áreas de fuertes pendientes y de crecidas estacionales (Derrau, 1970). Para que exista torrencialidad en una corriente se tienen que cumplir dos condiciones fundamentales; que el cauce reciba en forma instantánea una considerable cantidad de sedimentos producto de la evolución de vertientes y que el río transporte sedimentos gruesos.

La torrencialidad de la cuenca del río San Antonio se pone de manifiesto por:

- Las grandes pendientes hacen que la escorrentía se concentre pronto en canales de drenaje haciendo que el pico de crecida sea intenso y permite un fuerte avance de la onda de crecida
- El cauce principal recibe en forma instantánea una considerable cantidad de sedimentos producto de la evolución de sus vertientes
- El río tiene gran capacidad de transporte sedimentos gruesos.
- El predominio de un sustrato rocoso impermeable compuesto principalmente por rocas esquistosas y gnéissicas.

Los principales picos de crecidas en la cuenca que fueron detectados por el Sistema Telemétrico del CIRSA, están dados por las crecientes ocurridas en: noviembre de 1997 con un pico de 6,18 m en el Barrio el Canal (estación 604), durante el año 1999 se detectó una creciente en el río Icho Cruz (estación 1004) de 6,44 m y en el año 1993 en el río El Cajón se produjo una creciente de 5,47 m (estación 1800).

En el área de estudio la torrencialidad de estas corrientes esta en relación a los incendios forestales que producen una acentuada deforestación en las laderas acentuando la dinámica de los procesos de remoción en masa y fluviales mantiformes los que aportan gran cantidad de sedimentos al torrente, dado que las tierras forestadas tienen una gran influencia en la regulación de la escorrentía y consecuentemente en la prevención de la erosión de la cobertura superficial.

La acción antrópica es otro de los factores de desestabilización del paisaje el que se halla en estado de precaria estabilidad debido a la fuerte presión que soporta el paisaje por acción del turismo en la época estival.

Otras causas de creación de focos torrenciales en el área son: trazado y construcción de caminos vecinales sin estudios previos de estabilidad de laderas y la explotación de canteras, lechos y minas en forma inadecuada.

Los valles y depósitos fluviales: En lo que respecta a los principales valles (ríos Cajón, Malambo e Icho Cruz) las secciones transversales se caracterizan por la ruptura de pendiente (hombreras) en la ladera, generalmente ligadas a un cambio en la composición litológica. Sobre la evolución de la anchura del cau-

ce se puede decir que desde sus cabeceras hasta el C° Medio de los Ríos muestra un fuerte encajonamiento y marcada erosión lineal del sustrato mostrando un perfil en V el que presenta hombreras muy marcadas dando características de “valle en valle” o “valle en dos ciclos” correspondiente al encajamiento de la red fluvial producto de las diferentes fases tectónicas acaecidas durante el Cuaternario. A partir del C° Medio de los Ríos el perfil transversal tiende a la separación de las laderas y a una suavización de las laderas, presentando una llanura aluvial disimétrica con terrazas de erosión en su margen sur y escarpes en la margen norte (Figura 2).

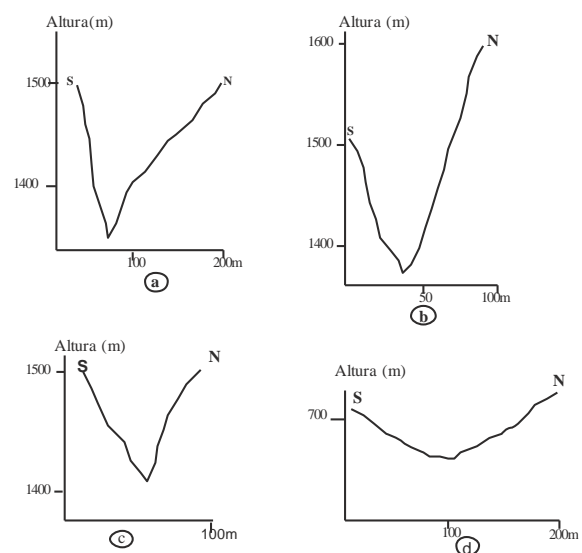


Figura 2. Perfiles transversales en distintos puntos de la traza: a) Río Icho Cruz, b) Río Malambo, c) Río Cajón, d) A° San Antonio.

El perfil longitudinal (Figura 3) es uno de los parámetros que mejor marca la dinámica fluvial de un río en el contexto de su cuenca, Langbein y Leopold (1964) demostraron que “el perfil de un río es un compromiso entre el mínimo esfuerzo del sistema y la equidistribución de energía a través de ese sistema”.

El perfil longitudinal presenta a grandes rasgos la existencia de dos tramos: uno superior, irregular, por encima de los 1150 m en el que se observa que el cauce principal no presenta la forma ideal del perfil de equilibrio comúnmente propuesta en la literatura geomorfológica, la concavidad hacia arriba del perfil se ve interrumpida por zonas planas en su parte superior cuando atraviesa los niveles de peneplanicies, estas áreas planas reflejan una inestabilidad en el perfil longitudinal causada por la tectónica que dio lugar al levantamiento la sierra Grande y de Achala.

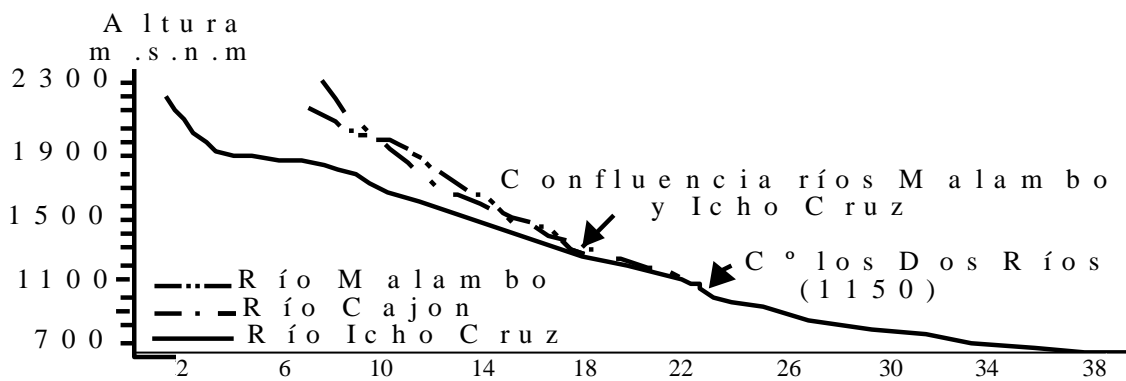


Figura 3. Perfil longitudinal del río San Antonio.

La pendiente longitudinal del río es muy fuerte (>30%) en los primeros 3,5 km cuyo cauce circula encajado entre vertientes con desniveles muy pronunciados. Desde el kilómetro 3,5 al 5 la pendiente disminuye notoriamente (8%) este sector corresponde al paso del río por el ambiente de penepianicie o “pampas altas”, al salir de esta se produce una ruptura de pendiente en el perfil longitudinal del río la que se debe a la presencia de un abrupto de falla del borde oriental de la Sierra Grande, esta pendiente se mantiene hasta el C° Medio de Los Ríos, siendo del orden del 25%. A medida que aumenta la superficie de la cuenca se produce un marcado descenso de la pendiente, así, a su paso por las primeras comunas sufre un pronunciado descenso la que se sitúa próxima al 10% aunque algunos de sus afluentes en especial de su vertiente norte mantienen gradientes longitudinales muy fuertes.

Las irregularidades existentes en el tramo superior del perfil muestran que el río todavía no ha alcanzado su perfil de equilibrio.

En los valles de los ríos Malambo, Cajón e Ichó Cruz se conservan superficies planas a unos 25 m por encima del cauce actual, estas superficies fueron identificadas como terrazas de erosión fluvial. En el río San Antonio, aguas abajo del C° Medio de los Ríos a unos 6 m de su cauce, se ha identificado un segundo nivel de terraza cubierta por rodados de rocas del basamento englobados en una matriz arenosa. Localmente aparecen depósitos posiblemente correspondientes a otro nivel de terraza localizados a 2-3 m sobre el cauce actual, en el área de las comunas. Además existe una llanura aluvial en la que el cauce llega a encajarse 1-2 m y llega a alcanzar hasta 50 m de anchura.

La presencia de conos aluviales esta relacionada con un cambio del nivel de base local debido a una profundización del cauce o por un aumento de la carga debido a un régimen estacional más lluvioso.

Distribución de frecuencias de diferentes atributos físicos

Se llevó a cabo el análisis sobre la distribución de los principales parámetros (altura, pendiente y exposición) que tienen incidencia en la dinámica de pendiente, y por ende en el control del funcionamiento de los cauces en las cuencas de los ríos Ichó Cruz (CRIC), A° San Antonio (CA°SA), Malambo (CRM) y Cajón (CRC).

La relación altitud / área (Figura 4) dominante es la que va desde los 1500 a 2100 m que ocupa el 54% de la superficie total de la cuenca y especialmente el intervalo comprendido entre los 1500 a 1800 m que ocupa el 30% de la superficie total, localizada en el sector de la cuenca alta. La relación menor de altura /área se localiza por encima de los 2100 m con un 8% de la superficie total.

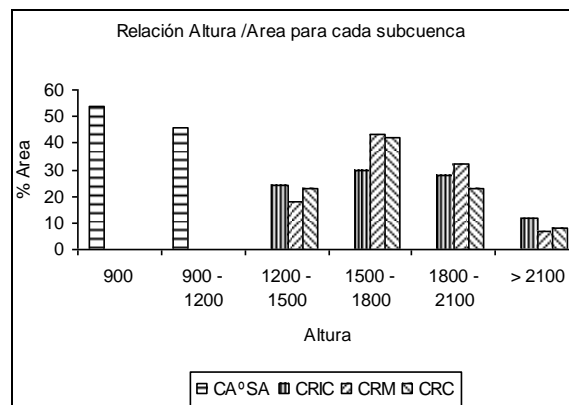


Figura 4. Relación altura / área.

La relación pendiente / área (Figura 5) tiene su intervalo más representativo en el comprendido entre 40 –60% con un total de 58% del área localizada en la parte superior de la cuenca próxima a las divisorias de agua de cursos de primer y segundo orden. Las orientaciones dominantes (Figura 6) son las N-NO y S-SO con un total del 53% de la cuenca; esta exposición está directamente relacionada con la evolución de laderas siendo las más activas las de exposición N-NO y son las que presentan procesos geomorfológicos y antropicos más activos.

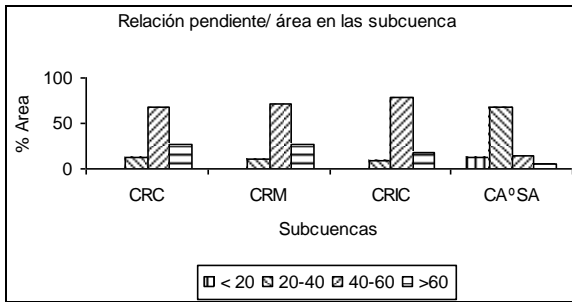


Figura 5. Relación pendiente / área.

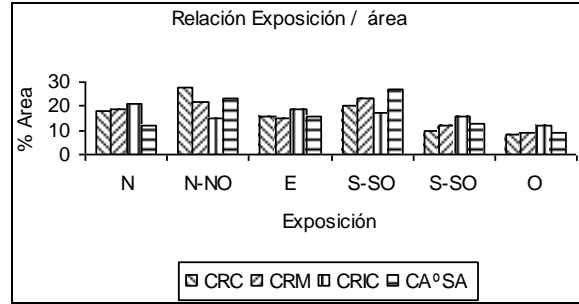


Figura 6. Orientación dominante.

La red hidrográfica

La descripción de la red hidrográfica se realiza por una parte con el análisis morfométrico de los parámetros topológicos y lineales de la misma y por otra, con su clasificación morfológica.

Topología: Según el método de Strahler (1964), la cuenca de drenaje es de orden 5 siendo su curso principal el río Icho Cruz que más adelante toma el nombre de San Antonio, estando compuesta de 36

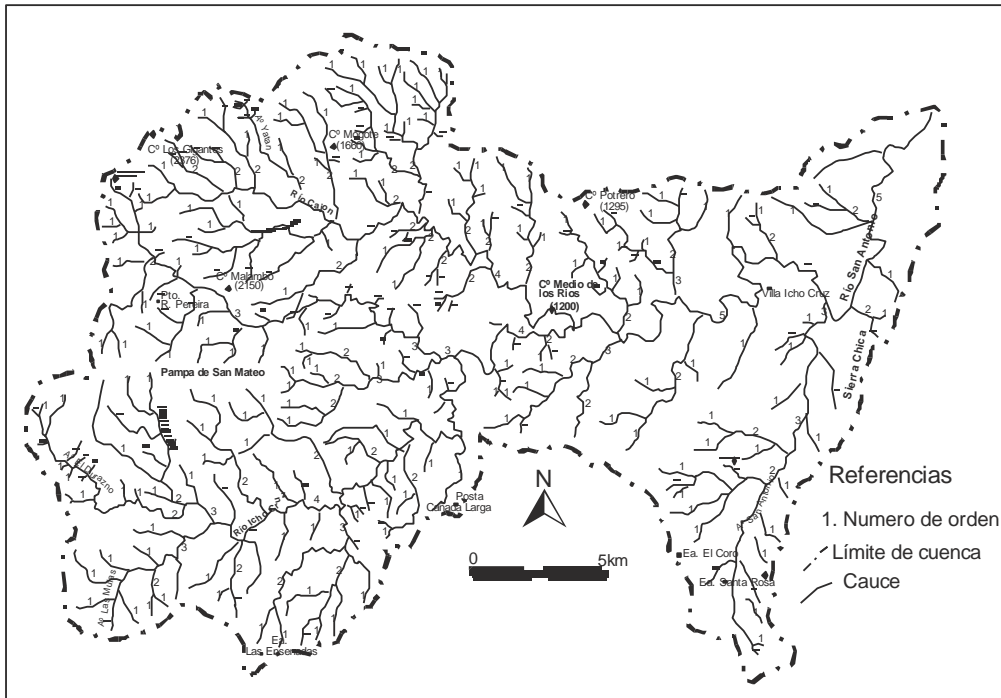


Figura 7. Interpretación de la red fluvial de acuerdo a Strahler (1979).

cuencas de segundo orden, 9 subcuencas de tercer orden y tres subcuencas de cuarto orden denominadas como: subcuenca río Cajón, Malambo y A° San Antonio (Figura 7).

La representación grafica (Figura 8a) y cuantificación del número total de cauces N_T (392) ha dado la siguiente relación: N_1 (298), N_2 (78), N_3 (12), N_4 (3), N_5 (1), siendo el total porcentual de cada orden de:

N_1 (76%), N_2 (20%), N_3 (3%), N_4 (0.8%) y N_5 (0.2%). Valores que demuestran que se cumple la primera ley de Horton (1945).

La relación de bifurcación (Rb), que expresa el grado de ramificación de la red de drenaje, ha sido calculada según Schumm (1956) y es de 4,6 para la totalidad de la cuenca. El valor promedio obtenido se encuentra dentro de los valores propuestos 3-5 señalado por Strahler (1979) para cuencas de litología homogénea propuesta por Chorley *et al.*(1984), aunque este valor no se condice con el propuesto por el citado autor en cuanto a la influencia del control estructural que existe sobre la red de drenaje.

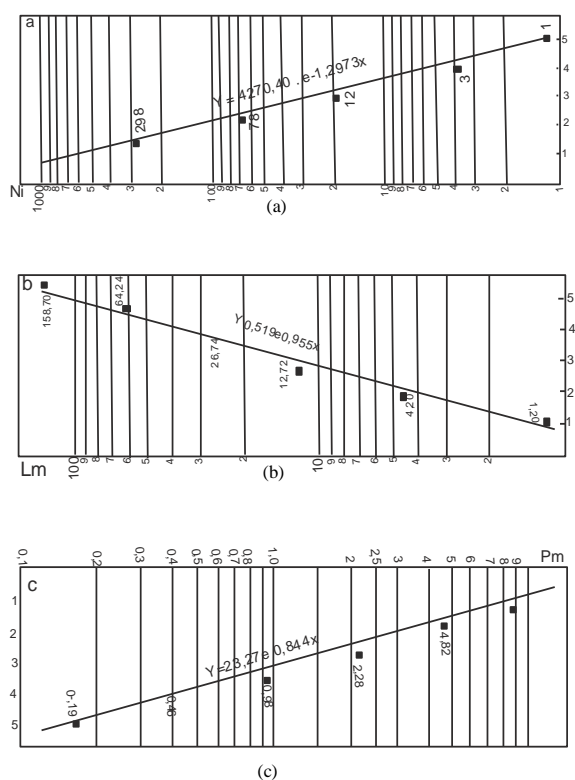


Figura 8. Representación de los distintos parámetros morfométricos: a) número de cauces b) longitud media acumulada c) pendiente media de los cauces.

Aspectos lineales

La cuenca en su totalidad fue analizada desde el punto de vista morfométrico de acuerdo a las leyes de composición del drenaje, siguiendo la metodología de Horton (1945), cuyos resultados han sido representados en forma gráfica.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede decir que el ordenamiento de los sistemas de drenaje es

normal y muestra una clara correspondencia con la primera y tercera ley de Horton. En cuanto a la segunda ley de Horton la cuenca no se ajusta a los valores esperados ya que existe un desfase entre la curva real y la teórica, existiendo un claro sobredimensionamiento de los cursos de orden 3 sobre los cursos de orden 2 y 4 (Figura 8b).

La longitud del cauce principal, estimada de acuerdo a Schumm (1956), desde su divisoria hasta su nivel de base da como resultado 38 km siendo la longitud del valle principal 29 km.

La morfología de los cursos varía entre los tipos recto a sinuoso según la clasificación de Morisawa (1985), el cálculo de sinuosidad de los principales cauces (Icho Cruz, Cajón y Malambo) según el método de Schumm (1977) da un valor de 1,6, lo que lo sitúa dentro del tipo rectilíneo a sinuoso.

Los valores de sinuosidad responden a las características geológicas de la zona, donde la morfología recta se corresponde con la presencia de los lechos rocosos entallados en rocas resistentes (granito y gneis), controlados por la estructura, en los que se producen profundas gargantas. La morfología sinuosa es característica de los cauces de orden mayor 4 a 5, de menor pendiente o que cruzan por áreas de rocas menos resistentes (conglomerados de piedemonte) en donde predomina el desarrollo de llanuras aluviales.

Morfología de la red de drenaje: La cuenca del río San Antonio muestra una red de drenaje bien jerarquizada, que de acuerdo a la clasificación de Howard (1967), la morfología de la red de drenaje varía entre el tipo rectangular donde la tectónica ha tenido una importancia decisiva a subdendrítico como el caso de las subcuencas enclavadas en el sustrato granítico de composición homogénea. La red está ligada a cauces consecuentes y subsecuentes, los primeros corren cortando perpendicularmente a las principales morfoestructuras como el caso de los ríos Icho Cruz, Malambo y Cajón, cuya disposición ha sido relacionada con la tectónica Andina. Los cursos subsecuentes corren a favor de zonas de debilidad tales como fracturas y formaciones geológicas poco resistentes a la erosión, ejemplo de esto es el A° San Antonio que en ciertos tramos aprovecha la existencia de los depósitos pedemontanos y en ciertos tramos su trazado está ligado a la Falla Punilla (Figura 9).

Desde el punto de vista de su configuración cabe mencionar que la cuenca que es de tipo triangular

alargada de oeste a este con un diámetro mayor de 28 km y un diámetro menor de 17 km con torrentes que bajan de la cumbre siguiendo la línea de mayor pendiente y que se incorporan al colector principal casi en ángulo recto.

De acuerdo a las condiciones orográficas generales de la cuenca, la red hidrográfica ha alcanzado mayor desarrollo en las pendientes occidentales que bajan del bloque de las sierras Grande y de Achala, mientras que en la pendiente oriental de la Sierra Chica esta poco integrada y de menor caudal tendiéndose a desarticularse al salir al piedemonte.

Estos cauces rectilíneos se encuentran en estado de equilibrio dinámico (inestable) es decir que se hallan en estrecha relación con las condiciones geológicas actuales.

La cuenca: geometría y relieve

Parámetros geométricos: dentro de los parámetros cuantificables se encuentran el área (A: 495 km²), la pendiente media de la cuenca (Pe: 21,8 %), el perímetro (P: 190 km.) y la longitud de la cuenca (L: 23,5) medida de acuerdo a Schumm (1956). En la Tabla 1 se muestran una serie de índices que consideran los parámetros geométricos y de relieve.

Tabla 1. Índices morfométricos clásicos.

Índice de compacidad (Gravelius, 1914)	$K_c = 0,28.P/\sqrt{A}$	$K_c = 1,38$
Razón de elongación (Schumm, 1956)	$R_e = 2\sqrt{A}/L$	$R_e = 0,36$
Razón de circularidad (Miller, 1953)	$R_c = 4A/P\pi$	$R_c = 0,54$
Factor Forma (Horton, 1932)	$F = A/L$	$F = 0,48$

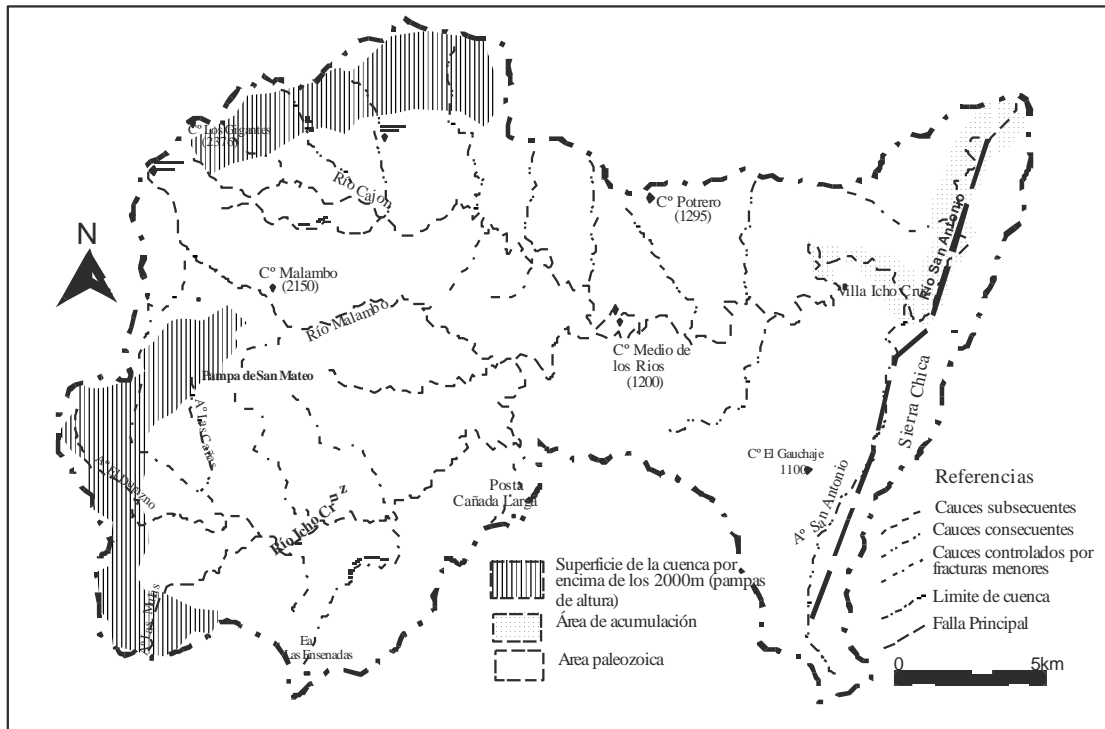


Figura 9. Esquema hidrogeomorfológico.

El valor del coeficiente de compacidad (Cc: 1,91) muestra una irregularidad relativamente alta en la morfología de la cuenca. Los índices de elongación y circularidad, juntamente con los bajos índices de infiltración relativa (I: 1/km³) combinados con el alto factor topográfico (Is: 7,9) hacen prever una rápida respuesta torrencial de la cuenca frente a las precipitaciones.

Pendiente media de la cuenca: de acuerdo al gráfico de la variación de pendiente (Figura 8c) permite comprobar que se cumple la tercera ley de Horton. Estos valores permiten esperar un alto poder erosivo fluvial en la cuenca.

Desnivel absoluto: El desnivel absoluto que indica el relieve máximo de la cuenca es de 1750 m. La alti-

tud media de la cuenca da como resultado 1425 m. La razón de relieve definida por Schumm (1956) considerada como la "relación existente entre el desnivel absoluto y la longitud de la cuenca" es del orden de 0,09. Razón de relieve: Schumm (1956) la definió como la relación existente entre el desnivel absoluto y la longitud de la cuenca y es de 0,04.

Parámetros de intensidad fluvial

Los valores de intensidad fluvial varían de acuerdo con las características físicas de la cuenca y relacionan los aspectos lineales de la cuenca con el área de la misma. Entre los que se cuentan:

Densidad de drenaje: para la totalidad de la cuenca del río San Antonio la densidad de drenaje obtenida según Strahler-Schumm es de $D:1,726 \text{ km de cauce por km}^2$ de área, siendo la longitud total de cauces de 427,8 km. Este valor demuestra una cuenca de buen drenaje según Horton (1945) y Coates (1971). Este valor define una textura de tipo grosero, según Morisawa (1985) y es coherente según Horton (1945) con los rasgos geológicos del sustrato rocoso muy resistente a la erosión, compuestos por granito y gneis.

Índice de frecuencia de cauce: fue definido por Horton (1945) como el número de cauces por unidad de área de la cuenca, es de 3,68 cauces por kilómetro cuadrado.

Longitud de flujo de escorrentía: se estimó de acuerdo al diseño de Horton (1945) con el fin de cuantificar la distancia recorrida por las aguas como flujo mantiforme antes de su ingreso a cauces definidos dando un valor aproximado a los 140 m.

Constante de mantenimiento del cauce: fue definida como la inversa de la densidad de drenaje (Schumm, 1956) alcanzando un valor de 0,58 km, valor que sugiere la superficie de cuenca necesaria para el funcionamiento de un cauce de un kilómetro lineal alcanzando un valor de $0,58 \text{ km}^2$.

Factores que controlan la morfología fluvial

Se discutirán y presentarán los distintos factores litológicos, estructurales y geomorfológicos que influyen en el desarrollo de la morfología fluvial en la cuenca del río San Antonio (Figura 7).

Factores litológicos: en la cuenca existen dos grupos de formaciones paleozoicas, los terrenos graníticos y los formados por rocas esquistosas, constitu-

yendo los terrenos mas elevados y resistentes del área que favorece la instalación de una red hidrográfica de morfología subdendrítica a rectangular de valles encajados y profundos y trazados subsecuentes, con fuertes pendientes tanto en su perfil longitudinal como transversal que impiden la formación de depósitos fluviales.

En los sectores mas bajos próximos a la desembocadura del río San Antonio en el Lago San Roque, se encuentran formaciones menos resistentes a la erosión formadas por los depósitos de piedemonte lo que favorece la instalación de una morfología de valles mas abiertos, y particularmente el trazado de valles consecuente como el caso del A° San Antonio y cuenca baja del río San Antonio, creando condiciones favorables a la instalación de llanuras aluviales y terrazas fluviales.

Factores tectónicos: en el desarrollo de la red de drenaje, la tectónica ha tenido una importancia decisiva, en relación con otros fenómenos como ser el factor climático distinguiéndose tres conjuntos de cauces. Uno de ellos de carácter subsecuente que drena en sentido O-E, perpendicular a las principales unidades morfoestructurales caso los ríos Cajón, Malambo e Icho Cruz – San Antonio en su parte superior y media, se puede relacionar esta alineación con las direcciones impuestas por la tectónica Andina de bloques levantados y basculados que favorece una pendiente local al este, representado por el flanco oriental de la sierra Grande.

El segundo grupo de carácter consecuente como el A° San Antonio que muestra su trazado una alineación N-S concordante con las principales alineaciones montañosa, -sierra Chicas- de la zona que conforman la divisoria de cuenca al este, como en el caso anterior están relacionados con el levantamiento de la sierra durante la tectónica Andina.

El tercer grupo son aquellos cursos que están controlados a nivel local por el sistema de fracturas, conformando una red de tipo rectangular uniéndose con otros cursos en ángulo recto.

Geomorfología y evolución Cuaternaria: la acción de la neotectónica en la zona ha dado lugar a la modificación de la red hidrográfica actual tanto en la configuración de sus perfiles transversales como longitudinales de los ríos mediante la erosión de las laderas como en la acumulación de depósitos de origen fluvial, con la formación de distintos niveles de terrazas y llanuras aluviales, aunque la interpreta-

ción de las mismas en cuanto a su origen requiere la existencia de mas datos a nivel local y regional acerca de las variaciones tectónicas recientes y climáticos. La formación del lago San Roque que actúa como nivel de base local ha generado la modificación de la red con la aparición de nuevas llanuras aluviales por represamiento aguas arribas del mismo.

Dinámica de ladera

Dentro de este sector tienen incidencia dos conjuntos de procesos relacionados directamente con la dinámica de las vertientes; los relacionados a movimientos de remoción en masa y los relacionados con la acción de la escorrentía superficial, en este trabajo solo nos referiremos a la acción fluvial, de acuerdo a esto sus formas resultantes se han podido agrupar en tres espacios morfo-topográficos a saber:

1) El sector morfo-topográfico localizado entre los 600 y 850 m predomina la acción de la escorrentía superficial manifestada por la presencia de áreas con incisiones activas (cárcavas), este fenómeno es habitual en los escarpes de erosión existentes en los glaciares de acumulación, por lo general esta acción tiene un mínimo porcentaje en la modificación de las vertientes. Se suelen observar algunos deslizamientos de derrubios de escasas dimensiones asociados a áreas con presencia de cárcavas.

2) El sector morfo-topográfico localizado entre los 1500 a 2100 m.s.n.m esta caracterizado por laderas con fuerte pendiente y sustrato impermeable que no pueden sustentar la cubierta superficial predominan los efectos de la escorrentía superficial capaz de arrastrar gran cantidad de material a los fondos de los cauces formando conos aluviales en la base de la pendiente. Su presencia está relacionada con un cambio del nivel de base local por profundización del cauce del río principal, o por un aumento de la carga debido a un régimen estacional más lluvioso.

En las cabeceras de los torrentes se manifiesta el proceso de carcavamiento en los cursos de primer orden que desde el punto de vista de la dinámica de vertientes tienen interés porque producen un fenómeno de erosión retrogradante y alimentan a la red de materiales en suspensión y cantos rodados.

La incisión en cárcavas en las cabeceras de los cursos son las principales áreas fuentes de sedimentos - juntamente con la remoción en masa- los que llegan a los cauces principales a través de una intensa red de cauces con pendientes empinadas y marcadas

rupturas de pendientes. Si se tiene en cuenta que más del 75% de la cuenca se instala sobre litologías resistentes (granito y gneis) y dadas las condiciones morfoclimáticas actuales se meteorizan principalmente por procedimientos mecánicos, esto hace que predomine la producción de sedimentos gruesos en los cauces que tienen sus nacientes en la sierra Grande y de Achala, mientras que la producción de finos es más escasa y se limita a la presencia de arcillas derivadas de la meteorización de las rocas esquistosas aflorantes en la ladera occidental de la Sierra Chica.

Aguas abajo de la confluencia del Río Cajón con el Icho Cruz, se entra en un sector de la cuenca dominado por una actividad geomorfológica diferente a la anterior, donde los procesos tienden a disminuir su actividad generando menor aporte de sedimentos a los cauces, ya en el tramo inferior aguas debajo de la localidad de Cuesta Blanca la posibilidad de generar sedimentos es prácticamente nula por sus características topográficas tratándose de un área de deposición de la fracción gruesa a media, los que son removidos en épocas de crecientes estacionales.

3) El nivel morfo-topográfico situado por encima de los 2100 m.s.n.m corresponde a las pampas de altura donde cambian las condiciones ambientales y la dinámica geomorfológica. En la actualidad la dinámica fluvial se ve reflejada en numerosas líneas de drenaje paralelas (rills) de poca profundidad que se conectan directamente con la red fluvial.

Este nivel carece de la capacidad de aportar importantes cantidades de sedimentos gruesos debido a la poca integración de su red de avenamiento y de la menor actividad geomorfológica principalmente representada por reptación y soliflucción, lo que hace ineficaz la acción de la escorrentía superficial y por lo tanto sin repercusiones hidrogeomorfológicas.

CONCLUSIONES

A la cuenca del Río San Antonio se la puede clasificar desde el punto de vista de su dinámica como una cuenca de torrentes de depósitos recientes no estabilizados o vivos, con predominio de deslizamientos de laderas y carcavamiento lineal.

La red hidrográfica cumple con los conceptos teóricos de Horton y los distintos parámetros morfométricos sugieren un alto potencial erosivo. El carácter torrencial de la cuenca está dado por elevada densi-

dad de drenaje, fuertes pendientes y sustrato de rocas impermeables que originan una fuerte respuesta hidrológica frente a las precipitaciones, en que las crecidas son intensas e instantáneas, las que cuentan con grandes posibilidades de movilizar la carga de fondo y transportar los sedimentos desde las laderas al cauce de los ríos.

La principal fuente de carga fluvial son las pendientes empinadas de la parte media y alta de la cuenca por debajo de los 2000 m correspondiente a las subcuenca de los ríos Cajón, Malambo e Icho Cruz, donde la producción de sedimentos al pie de las laderas está relacionada principalmente por el material procedente de deslizamientos retransportado por acción de la escorrentía superficial.

Por último la morfología fluvial de la cuenca esta condicionada por las características del sustrato rocoso y la influencia de los cambios durante tectónica andina y la evolución cuaternaria de la zona, para cuya valoración adecuada faltan datos tanto a nivel local como regional.

BIBLIOGRAFÍA

- Barbeito, O., Beltramone, C. y Ambrosino, S. 2000. La geomorfología en la predicción de inundaciones extremas frente al cambio climático global. Memorias del 18 Congreso Nacional del Agua: 353-355. Termas de Río Hondo. Santiago del Estero.
- Beltramone, C., Barbeito, O y Ambrosino, S. 2003. Mapa geomorfológico de la porción central de las Sierras de Córdoba. Actas 2. Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología: 221-228. Tucumán.
- Beltramone, C. 2005. Comportamiento hidrogeomorfológico de un torrente de montaña en el contexto de su cuenca: caso río San Antonio. Provincia de Córdoba. Centro de la Región Semiárida. Instituto Nacional del Agua. (Inédito) 54 p. Córdoba.
- Chorley, R., Schumm, S y Sudgen, D. 1984. Geomorphology. Methuen and Co., 607p. New York.
- Coates, D. R. 1971. Hydrogeomorphology of Susquehanna and Delaware Basins. In: Morisawa, M (Ed.): Quantitative Geomorphology: some aspects and applications. Publications in Geomorphology, S. U. N. Y. at Binghamton: 273-308. Binghamton.
- Colladon, L. 2000. Anuario Pluviométrico 1992-2000. Cuenca del Río San Antonio. Centro de Investigaciones de la Región Semiárida. 16 p. (Inédito).
- Colladon, L. 2004. Estadísticas Meteorológicas . Temperaturas medias mensuales 1994-2003. Cuenca Río San Antonio. Centro de Investigaciones de la Región Semiárida. 23 p. (Inédito).
- Derreau, M. 1970. Geomorfología. Ediciones Ariel. 442 p. Barcelona
- Gordillo, C. y Lencinas, A. 1979. Sierras Pampeanas de Córdoba y San Luis. En: Leanza, A. F. (Ed.), Geología Regional Argentina, p.1-39. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba.
- Horton, R. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological Society of American Bulletin 56: 275-370.
- Howard, A. D. 1967. Drainage analyses in geologic interpretations: A summation. American Association of Petroleum Geologists, Bulletin, 51: 2246-2259
- Langbein, W. B y Leopold, L. 1964. Quasi-equilibrium states in channel morphology. American Journal of Science, 262: 782-794.
- Linares, E y Latorre, C. 1970. Edades potasio-argón y plomo-alfa de rocas graníticas de la provincia de Córdoba y San Luis. 4 Jornadas Geológicas Argentina. Actas.1: 79-85. Mendoza.
- Morisawa, M. 1985. Rivers. Form and process. Geomorphology. Logmann. London.
- Olsacher, J. 1960. Descripción geológica de la Hoja 20h, Los Gigantes, Córdoba. Carta Geológica - Económica de la República Argentina., Dirección Nacional de Geología y Minería. Boletín 12. Buenos Aires.
- Schmieder, O. 1921 Apunte Geomorfológico sobre la Sierra Grande de Córdoba. Boletín Academia Nacional de Ciencias de Córdoba. Tomo 25. Córdoba.
- Schumm, S. A. 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perh Amboy, New Jersey. Geological Society of America Bulletin., v.67, pp.597-646.
- Schumm, S. A. 1977. The fluvial system. John Wiley & Sons. 338 p. New York
- Strahler, A. N. 1952. Hipsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geological Society of America Bulletin., 68: 1117- 1142
- Strahler, A. N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. En Chow, V (Ed.): Handbook of applied Hydrology, Mc. Graw Hill, 4-2. New York.
- Strahler, A.N. 1979. Geografía Física. 767 pp. Editorial Omega.

Artículo recibido el 07/2007 y aprobado para su publicación el 04/2008.