



Geomorfología cuantitativa aplicada a la identificación de áreas de recarga preferenciales en la llanura interserrana de la provincia de Buenos Aires (Argentina)

Quiroz Londoño, Orlando Mauricio ¹ - Martínez, Gustavo Adolfo ¹ - Massone, Héctor Enrique ¹ - Martínez, Daniel Emilio ²

Recibido: 06 de abril de 2011 • Aceptado: 11 de mayo de 2011

Resumen

La llanura pampeana de la Argentina es una vasta planicie dedicada esencialmente a la agricultura. Esta actividad depende en gran medida de la calidad y disponibilidad del recurso hídrico tanto superficial como subterráneo. El ciclo hidrológico en este tipo de paisajes está influenciado por dos aspectos: una baja pendiente y el predominio de los procesos de infiltración y evaporación. El objetivo de este trabajo es analizar la relación entre algunos parámetros de la geomorfología cuantitativa y su utilidad para identificar posibles áreas de recarga preferencial a acuíferos en áreas de llanura. Para esto, fueron analizadas tres cuencas de la Llanura interserrana bonaerense. Este estudio muestra que, aplicando un conjunto de técnicas geomorfológicas, asociadas al análisis hidrogeológico tradicional y técnicas de teledetección y SIG es posible identificar áreas con mayor probabilidad de recarga, mejorando de esta manera modelos conceptuales y matemáticos que apunten a la gestión del recurso hídrico.

Palabras claves: Llanura pampeana, geomorfología cuantitativa, SIG.

Abstract

The Pampa plain of Argentina is a vast area mostly devoted to agriculture. This activity is largely dependent on the quality and availability of hydric resources both surface water and groundwater. Hydrological cycle in these landscapes present peculiar features, showing little changes in slope and dominance of infiltration and evaporation processes. The goal of this paper is the application of quantitative geomorphologic data as indicators of aquifer preferential recharge areas in flat environments. In this sense, three catchments of the Interrange Plain were analyzed. This study shows the importance of applying a set of geomorphological techniques associated to traditional hydrologic analysis, remote sensing and GIS, in order to improve recharge area identification. To summarize, the obtained results could enhance conceptual and mathematical models in plain areas, both useful tools for hydric resource management.

Keywords: Pampa plain, quantitative geomorphology, GIS.

¹ Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata. Casilla de Correo 722, (7600), Mar del Plata, Argentina. Tel. +54 223 4754060

² CONICET. Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata. Casilla de Correo 722, (7600), Mar del Plata, Argentina. Tel. +54 223 4754060

kmrgeoconsult@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Los estudios clásicos de sistemas hidrológicos se enfocan en caracterizar el volumen total de agua evacuado por las cuencas y cómo este proceso se distribuye en el tiempo. Para esto, se han establecido índices que relacionan las características físicas de la cuenca, prácticamente estáticas, y las características hidrológicas de la zona, altamente dinámicas. Dichos índices permiten definir la interacción entre las características geológicas y geomorfológicas, y los patrones físicos superficiales, definiendo de manera cuantitativa la posible respuesta de la cuenca ante un escenario hidrológico. Un ejemplo de esto son los trabajos desarrollados por *Vogt et al.* (2003), *Graham* (2004) y *Lin y Oguchi* (2004) en los cuales establecen relaciones entre las redes de drenaje y la pendiente de una zona y como estas intervienen en el comportamiento hidrológico de las cuencas.

La geomorfología cuantitativa que incluye los parámetros físicos de la red de drenaje incluidos en la geomorfología cuantitativa, derivan de los trabajos tradicionales de *Horton* (1945), *Strahler* (1952, 1957) y *Morisawa* (1957). Estos han sido utilizados para distintos objetivos que incluyen el análisis de comportamientos hidrológicos (*Madduma Bandara*, 1974). Los mismos permiten establecer diferencias entre cuencas con características similares. En la Argentina la utilidad de estas técnicas se han considerado en algunos trabajos, pudiendo mencionar entre otros, *Sala y Gay* (1981), *Marchetti* (1968), *Rabassa* (1977a, 1977b), *Tujchneider y Díaz* (1982), y *Cionchi* (1982, 1984). Estos autores realizan sus trabajos con el objetivo de clasificar las cuencas y determinar su grado de madurez geomorfológica.

En sistemas hidrológicos como los que se presentan en la llanura pampeana, definida por grandes extensiones de terreno, con leves cambios en la pendiente, una morfología eólica compuesta por materiales permeables, escasos cursos fluviales y donde los procesos de infiltración y evaporación son dominantes (*Zimmerman* 2004), los estudios que permitan establecer áreas con mayor grado de acumulación de agua en superficie pueden ayudar a mejorar modelos hidrológicos conceptuales y numéricos, especialmente en la determinación de zonas con mayor probabilidad de recarga preferencial.

Este trabajo pretende utilizar las características geomorfológicas de una región de la llanura interserrana bonaerense a fin de identificar zonas con mayor probabilidad de almacenamiento hídrico superficial y por ende mayor posibilidad de infiltración y recarga. Para ello se aplicaron técnicas de geomorfología cuantitativa, sistemas de información geográfica, hidrogeología y geología. Este análisis permite caracterizar el estado del sistema de drenaje así como inferir tendencias futuras en la respuesta hidrológica de las diferentes cuencas, pudiendo ser aplicadas en otras áreas de llanura.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA

Las cuencas correspondientes a las cuencas de los Arroyos El Moro, Seco y Tamangueyú, se localizan Llanura Interserrana Bonaerense, en el sureste la provincia de Buenos Aires (entre 38°39'34" y 37°34'23" Sur y los 59°6'57" y 58°16'28" de longitud Oeste). Limita al norte con las Sierras de Tandilla, al sur con el Océano Atlántico, al Oeste con el Río Quequén Grande y al este con la leve divisoria que la separa de la cuenca del arroyo Malacara. (Figura 1). Su extensión es de 2620 km², con una elevación máxima de 420 msnm.

En el área se pueden reconocer tres grandes unidades estratigráficas. Un Basamento Cristalino precámbrico que cons-

tituye la base de las sierras del Sistema de Tandilla. Constituido por metamórficas (Gneis, Anfibolitas y Migmatitas principalmente), diques básicos y granitoides (*Dalla Salda* (1999). Sobre este Basamento y en forma discordante se encuentra una Secuencia Silicoclástica del Paleozoico inferior (arenitas y sabulitas cuarzosas asociadas a niveles arenosos), denominada Formación Balcarce (*Amos et al.* (1972). En el tope de la secuencia estratigráfica se encuentra un Complejo Sedimentario Cenozoico, correspondiente a una cubierta de sedimentos cenozoicos, constituidos por sedimentos Pampeanos (Plioceno Inferior-Pleistoceno Superior) y Postpampeanos (Pleistoceno Superior - Holoceno) (*Frenguelli*, 1950). Estos sedimentos son los que conforman el acuífero más importante en la región. Los primeros con mayor extensión que los Postpampeanos, están constituidos principalmente por limos y en menor proporción por arenas y arcillas con cantidades variables de carbonato de calcio (Tosca). Los Sedimentos Postpampeanos, están constituidos por sedimentos arenosos, limosos, arcillosos y calcáreos de origen eólico retrabajados fluvialmente.

El clima de esta zona es clasificado como subhúmedo - seco, con nulo o pequeño exceso de agua a los efectos agronómicos y conforme a su eficiencia térmica, de tipo mesotermal "B2", (*Thorntwaite*, 1948) observando ciclos con escasas precipitaciones (periodo 1941-1960) con alternancia de periodos de alta precipitación (a partir del 70 hasta la actualidad). La temperatura media anual es de 14°C. La distribución de las precipitaciones presenta en general un incremento progresivo hacia el noreste de la zona, alcanzando valores variables entre 700 y 900 mm/año, *Kruse et al.* (1997). Las mayores precipitaciones se producen entre los meses de septiembre y marzo. La precipitación promedio para la zona fue calculada en 800 mm/año. *Varela y Teruggi* (2001). Los valores de evapotranspiración real calculados para el periodo comprendido entre los años 1961 y 1990, aplicando el método de Thorntwaite se estiman en 740 mm/año (*Kruse et al.* 1997).

En el área de estudio se identifican tres arroyos principales. Son cuerpos de agua de carácter intermitente y/o permanente de bajo caudal, que se originan en las sierras de Tandilla (Figura 1) y fluyen en dirección norte-sur. El Arroyo El Moro es intermitente en gran parte de su recorrido y solo en cercanías a su desembocadura en el Océano Atlántico, presenta un comportamiento de tipo ganador. El Arroyo Seco, que vierte sus aguas al río Quequén Grande, tiene una dirección general noreste-suroeste, es de tipo intermitente y sin cauce definido en su parte media. Por último el Arroyo Tamangueyú, de tipo permanente, colecta las aguas en el sector occidental de las sierras y las lleva hacia el Río Quequén Grande.

METODOLOGÍA

Se construyó un Modelo Digital de Terreno (MDT) a partir de cartas topográficas del área elaboradas por el Instituto Geográfico Militar (IGM), actualmente Instituto Geográfico Nacional, a escala 1:50.000. Para ello se utilizó el programa Arcview 3.2 (ESRI, extensión 3D Analyst). Se identificaron las cuencas de los principales arroyos y se trazaron las líneas de divisoria de aguas superficiales, siguiendo los lineamientos descritos por *Zimmerman* (2004). Se utilizaron el MDT y las curvas de nivel para realizar la reconstrucción de la red de drenaje. La identificación de los cursos de agua de primer orden resulta de aplicar el criterio de *Morisawa* (1957) extendiendo los cursos que aparecen en el mapa topográfico pendiente arriba hasta donde por lo menos dos curvas de nivel consecutivas lo

sugieran. De esta manera se trata de minimizar, como señala *Rabassa (1978)*, la arbitrariedad debida a razones de escala de las cartas o bien a razones subjetivas inherentes a la persona que realiza el trabajo.

El siguiente paso fue calcular la densidad de drenaje. Con respecto a la cuantificación de este parámetro, *Horton (1932,1945)* indica que la manera más simple y conveniente de expresarlo es mediante el cociente entre la longitud total de los cursos de agua de una cuenca (L) y el área total de la misma (A), siendo su magnitud Km/Km². Se utilizó para este cálculo la herra-

mienta SIG. De igual manera fue calculado el mapa de pendientes a partir del MDT utilizando el algoritmo que por defecto posee este programa.

Los diversos cursos de agua fueron ordenados siguiendo la metodología propuesta por *Horton (1945)* y modificada por *Strahler (1953)*. Para analizar en detalle la composición y comportamiento de la red de drenaje en las diferentes cuencas, se realizó el análisis morfométrico de los cursos de agua. Dicho análisis se efectuó aplicando algunas de las leyes definidas por Horton para cuantificar geomorfológicamente una red hidrográfica.

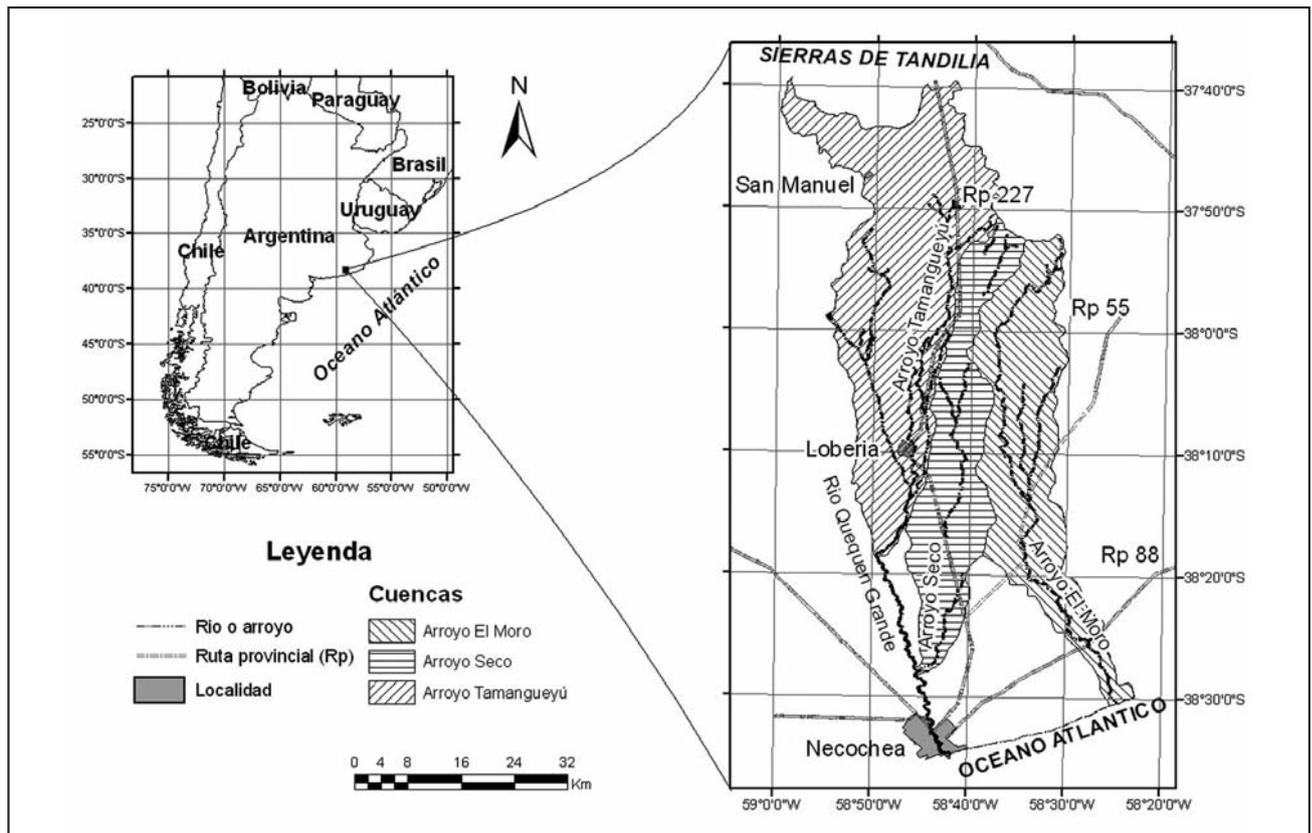


Figura 1. Mapa de Ubicación

La primera es la Relación de Bifurcación (Rb) que expresa la proporción existente entre el número de segmentos de un orden dado y el número de segmentos del orden inmediatamente superior, representando así el grado de ramificación de la red de drenaje. Para obtener una media ponderada de Rb para cada cuenca se adoptaron las consideraciones de *Schumm (1956)*, quien recomienda el uso del valor medio obtenido de multiplicar el Rb de cada par sucesivo de órdenes por el número total de cursos definidos en la cuenca.

La segunda ley, relaciona las longitudes medias (Rl), de los cursos de agua de cada orden usando una serie geométrica, en la cual el primer término es la longitud promedio de los cursos de primer orden. Para esta ley se aplicó el criterio de *Strahler (1979)*, quien considera que en lugar de las longitudes medias deben utilizarse las longitudes medias acumuladas.

La tercera ley de *Horton (1945)* también fue utilizada. Dicha ley expresa que existe una relación entre el gradiente medio del cauce (Rg) y su orden. Está definida por una serie geométrica inversa, en la que el primer término es la pendiente

media de los cursos de primer orden y cuya razón es la relación de pendientes.

Con objeto de evaluar el ajuste de estas cuencas a las diferentes leyes, se elaboraron gráficos X - Y que relacionan los valores reales y teóricos para cada caso. Se obtuvieron las ecuaciones de regresión y el valor de su coeficiente de correlación.

A fin de determinar la capacidad de almacenamiento hídrico en la red de drenaje se realizó el cálculo del parámetro Rho, el cual relaciona el índice bifurcación y el índice de longitud de drenaje.

RESULTADOS

Pendiente: En la zona se encuentran pendientes que oscilan entre 0 y 51.25% (Figura 2). La pendiente media es de 0.871 con una desviación estándar de 3.53. El 83.87% del área posee pendientes menores al 1% (0.57°). Los valores altos de pendiente se restringen a los límites entre las zonas de llanuras y sierras, áreas dominadas por un fallamiento vertical de alto ángulo (*Frenguelli 1950*). Estos valores representan el 1.43% del total del área analizada (Figura 2).

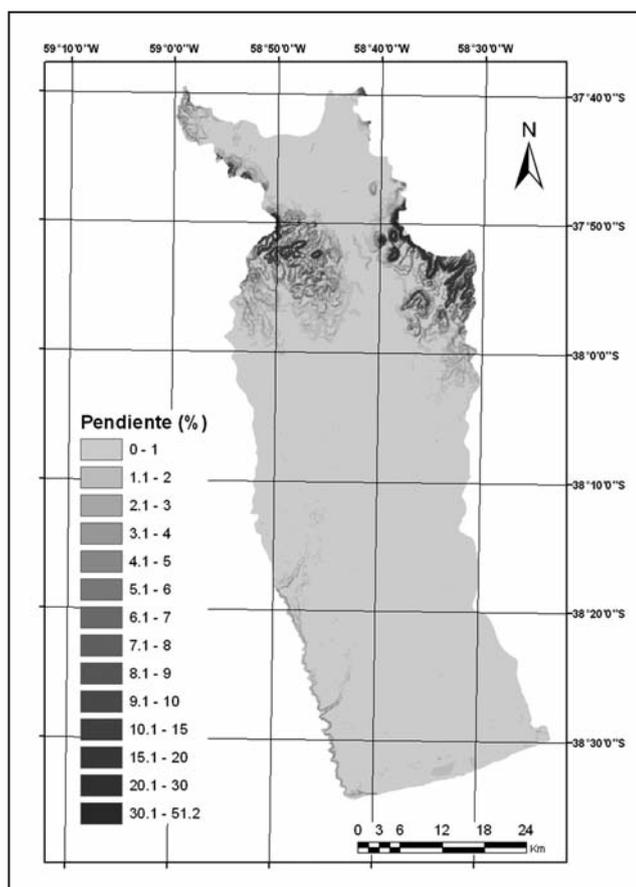


Figura 2. Mapa de pendientes

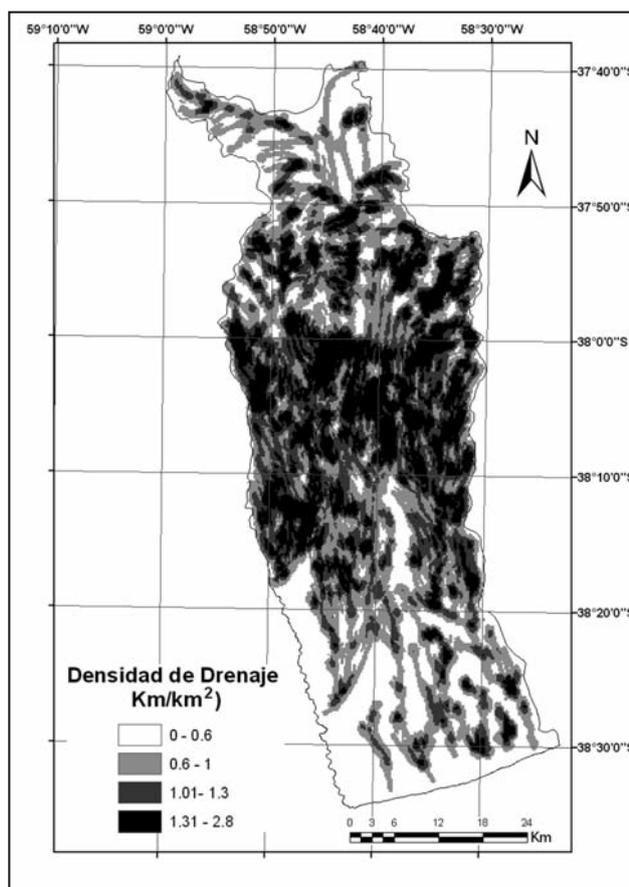


Figura 3. Mapa de Densidad de drenajes

La cuenca del Arroyo Seco posee el mayor porcentaje de área con menor pendiente (90% de su área con pendientes de menos de 1%). Este factor puede influir, entre otras cosas, en la variación del comportamiento efluente - influente del Arroyo Seco durante su recorrido y sugerir respuestas diferentes en los hidrogramas de esta cuenca, para precipitaciones similares en el área.

Densidad de Drenajes (Dd): Para este parámetro se obtuvieron valores que oscilan entre 0.0 y 2.8 km/km² (Figura 3), indicando que se trata de cuencas con déficit en su red de drenaje. Valores como los encontrados en estas cuencas se asocian a terrenos llanos, resistentes a la erosión con altas permeabilidades, tendientes a producir encharcamiento y altos tiempos de concentración. Es de resaltar que la densidad de drenaje no es uniforme, y que este parámetro se hace mayor en la zona de sierras, donde el subsuelo presenta valores más bajos de

permeabilidad (predominio geológico de ortocuarcitas) con poca vegetación y pendientes más altas.

LEYES DE COMPOSICIÓN DEL DRENAJE

Primera Ley de Horton. "Ley del número de cursos"

Se identificaron un total de 853 cursos de agua en la zona, la tabla 1 ilustra la relación entre los distintos órdenes. La tabla 2 presenta para cada cuenca el número de drenajes y el valor de Rb. En todos los casos se observa un muy buen ajuste entre los valores reales y los teóricos obtenidos por medio de la ley del número de cursos, con valores de coeficientes de correlación (r²), muy cercanos a uno (Figura 4). El total de valores de número de drenajes de la cuenca del arroyo Seco es más bajo que en las otras cuencas, debido principalmente que posee menos áreas en zonas serranas.

Tabla 1. Número de drenajes, clasificados por ordenes y Rb promedio.

CUENCA	1/2	2/3	3/4	4/5	Media		
					Aritmetica		
					Medias	St	Ponderada
ARROYO EL MORO	3.6	4.1	4.3	3	3.75	0.58	3.71
ARROYO SECO	3.5	3.7	4.5	2	3.43	1.04	3.6
ARROYO TAMANGEYU	3.9	3.8	4.5	4	4.05	0.31	3.88

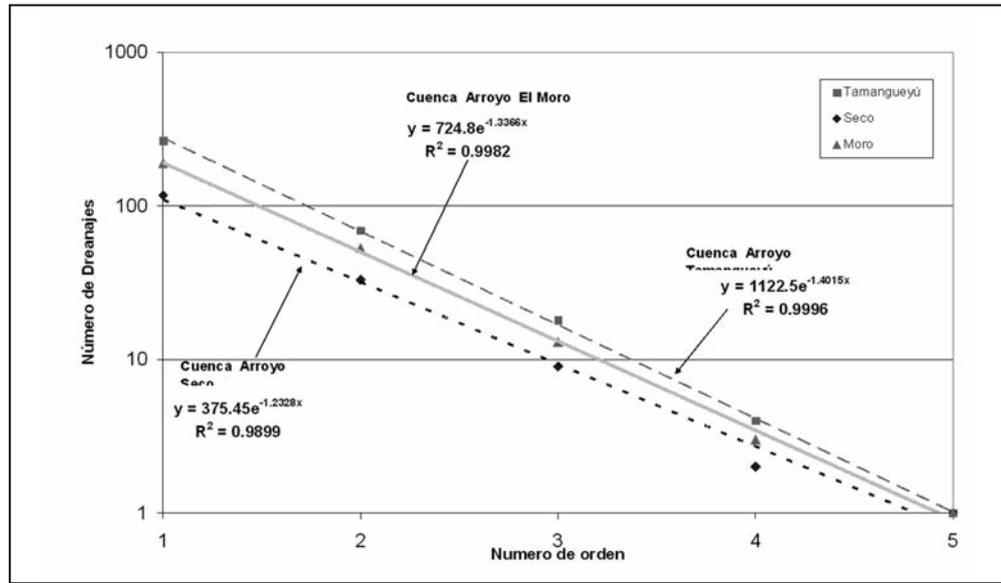


Figura 4. Ecuaciones y coeficientes de correlación de Rb.

Segunda Ley de Horton. "Ley de longitud de cursos."

Este análisis se efectuó utilizando las longitudes totales, medias y acumuladas. Los valores medios de Longitudes medias acumuladas (Rl) obtenidos (Tabla 3), oscilan entre 0.9 y 8.1. Los coeficientes de correlación obtenidos para las cuencas de los arroyos El Moro y Tamangueyú indican buen grado de ajuste de esta ley entre las longitudes reales y teóricas (Figura 5). La cuenca del Arroyo Seco presenta un valor de correlación más bajo (0.8317), causado por la poca longitud de sus cursos de orden tres y cinco. Los valores encontrados (tabla 3) son determinados por grandes longitudes alcanzadas por los drenajes de cuarto orden. Estos cursos, después de alcanzar rápidamente su jerarquización en las zonas de sierras, permanecen con la misma categoría de orden a lo largo de grandes distancias en las zonas de llanura, generando las formas alargadas y estrechas de sus cuencas.

Tabla 2. Relación de órdenes en las cuencas.

CUENCA	ORDEN					Rb
	1	2	3	4	5	
Arroyo El Moro	190	53	13	3	1	3.71
Arroyo Seco	117	33	9	2	1	3.6
Arroyo Tamangueyu	266	69	18	4	1	3.88
TOTAL	626	169	45	9	3	

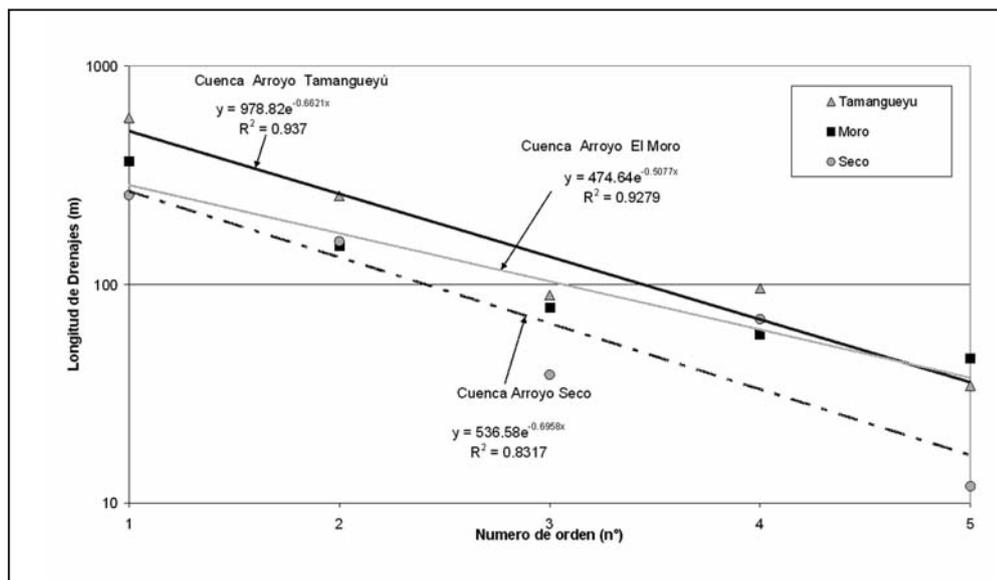


Figura 5. Gráficos, ecuaciones y coeficientes de correlación de longitud de drenajes Para cada cuenca.

Tercera Ley de Horton "Ley de gradientes de cauce".

En la tabla 4 se consignan los valores de la relación de gradientes (Rg) para los distintos ordenes. La Figura 6, que relaciona las pendientes teóricas de los cauces con las reales, muestra una buena correlación para las cuencas de los arroyos El Moro y Tamangueyú. Para el caso de la cuenca del Arroyo Seco, la correlación es afectada por una notable disminución en la pendiente media de los drenajes de tercer orden. Esto causa un aumento de la relación entre los drenajes de orden dos y tres, y una disminución entre los de orden tres y cuatro.

Indice Rho: Los valores encontrados en este parámetro se ilustran en la tabla 5. Según estos datos, la cuenca del Arroyo Seco (valor promedio más alto), será la que mejor almacenamiento en cauce presenta y en la cual el caudal pico tardará más tiempo en manifestarse en la desembocadura. Esto se corresponde con el hecho de ser una cuenca alargada y estrecha, con bajos gradientes de cauce, y con una importante longitud de un curso de cuarto orden (que recibe principalmente agua de cursos de primer y segundo orden), lo que le permitiría, a su vez, almacenar mayor volumen de agua en momentos de crecientes, disminuyendo los efectos erosivos.

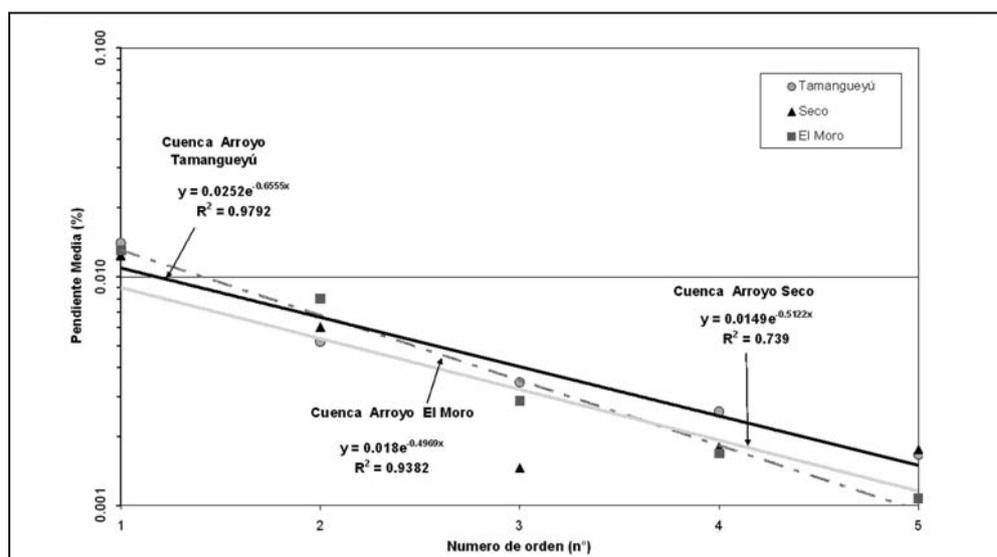


Figura 6. Valores de gradientes medios y ecuaciones de correlación.

Tabla 3. Valores de RI para cada cuenca.

CUENCA	Relación de Orden				Media	
	2/1	3/2	4/3	5/4	Aritmetica	St
Arroyo El Moro	1.47	2.14	3.26	2.33	2.30	0.74
Arroyo Seco	2.18	0.9	8.1	0.34	2.88	3.56
Arroyo Tamangueyú	1.69	1.34	4.84	1.43	2.33	1.68
Total para la cuenca					2.50	0.33

Tabla 4. Valores de relación de gradientes (Rg)

Relación de Orden	Rg		
	Arroyo Tamangueyú	Arroyo Seco	Arroyo El Moro
1/2	2.71	2.06	1.63
2/3	1.5	4.13	.79
3/4	1.34	0.81	1.7
4/5	1.55	1.02	1.57
Promedio Desviación estándar	1.78	2.01	1.92
	0.63	1.52	0.58

Tabla 5. Valores de Rho obtenidos para las cuencas.

Cuenca	Relación de órdenes	Rb	RI	rho	rho Promedio Cuenca	Desv. Estándar
Tamangueyú	1 - 2	3.86	1.69	0.44	0.56	0.35
	2 - 3	3.83	1.34	0.35		
	3 - 4	4.50	4.84	1.08		
	4 - 5	4.00	1.43	0.36		
Seco	1 - 2	3.55	2.18	0.61	0.71	0.75
	2 - 3	3.67	0.90	0.24		
	3 - 4	4.50	8.10	1.80		
	4 - 5	2.00	0.34	0.17		
Moro	1 - 2	3.58	1.47	0.41	0.62	0.18
	2 - 3	4.08	2.14	0.52		
	3 - 4	4.33	3.26	0.75		
	4 - 5	3.00	2.33	0.78		
Rho promedio para toda la cuenca					0.63	0.45

DISCUSION

Los fenómenos de infiltración, escorrentía superficial, humedad del suelo y contribución de agua al flujo base, están estrechamente relacionado con la pendiente de la cuenca (Campos de Ferreras y Piccolo 2002). En sistemas con características tales como las que se presentan en la llanura interserrana bonaerense, este parámetro llega a ser significativo en el desarrollo del ciclo

hidrogeológico y en los procesos de evaporación e infiltración, las cuales llegan a ser dominantes como elemento regulador en la dinámica de agua subterránea y superficial.

El análisis morfométrico llevado a cabo en estas tres cuencas muestran similitudes y diferencias que pueden ser relacionadas a procesos de recarga. El análisis revela un buen ajuste con las leyes que relacionan el número de cursos de diferentes órdenes. En lo que respecta a la ley que relaciona la longitud de cursos, los valores encontrados en el cuarto orden son altos para todas las cuencas. Esto se debe al hecho de que todos los arroyos alcanzan rápidamente ese orden al dejar el sistema serrano y permanecen así hasta las zonas más bajas antes de su desembocadura, colectando drenajes de menor orden. La forma elongada de las cuencas también tiene una gran influencia en la longitud de los cauces ya que permite el desarrollo preferencial de drenajes en una sola dirección. El valor analizado para la pendiente de los cursos y la relación entre los diferentes órdenes, en concordancia con los valores generales de pendiente, son bajos. Los valores obtenidos por la relación entre la longitud de los drenajes (Rl) y el coeficiente de bifurcación (Rb) revelan que la cuenca del arroyo Seco tiene una alta capacidad de almacenamiento. Las características de la red de drenaje descritas anteriormente, sumadas a las bajas pendientes, sugieren una lenta respuesta de los arroyos con posterioridad a una lluvia, limitando la escorrentía superficial e incrementando el almacenamiento de agua. Esto aumenta las probabilidades de infiltración y posterior recarga al acuífero.

La baja pendiente en los cursos de tercer orden en la cuenca del arroyo Seco, sumado a las grandes longitudes de drenajes de cuarto orden y el alto valor de Rho, sugieren una mayor capacidad de almacenamiento superficial en esa cuenca. Lo que puede usarse como indicador en la delimitación de áreas de re-

carga preferencial en áreas de llanura. La presencia de una zona de recarga en dicho cauce fue comprobada mediante diferentes técnicas por Quiroz *et al.* (2008).

CONCLUSIONES

Este estudio intenta demostrar que aplicar una serie de técnicas geomorfológicas cuantitativas en cuencas de llanura bajo condiciones climáticas húmedas, permite mejorar modelos hidrológicos conceptuales en la determinación de zonas de recarga preferencial. Para el caso de cuencas con características tales como las que presenta la llanura interserrana Bonaerense, la longitud de las cuencas llega a ser un factor que mejora la retención superficial y la consiguiente recarga al acuífero.

Pese a las similitudes de las cuencas en aspectos geológicos y geomorfológicos, las diferencias en el desarrollo de su red de drenaje podrían producir diferentes grados de acumulación de agua en el cauce durante periodos de lluvia.

Las consideraciones anteriores demuestran como los datos obtenidos a partir del análisis de la red de drenaje en ambientes de llanura ayudan a mejorar los modelos hidrológicos e hidrogeológicos conceptuales, y cómo estos datos relacionados con otras coberturas de información, pueden detectar leves, pero significativos, cambios que llegan a modificar la respuesta de estas llanuras ante eventos de excesos hídricos.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue desarrollado como parte de un proyecto de investigación financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica (ANPCyT) de Argentina (PICT7-1389). La Universidad Nacional de Mar del Plata provee la infraestructura adecuada para el desarrollo de las tareas.

LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AMOS, A.J. QUARTINO, B.J. Y ZARDINI, (1972).
El Grupo "La Tinta" (Provincia de Buenos Aires) Paleozoico o Precámbrico? XXV.
Congr. Bras. Geol. Sao Paulo, Págs. 211-221.
- CAMPO DE FERRERAS, A. M & PICCOLO, M.C (2002)
Hidroquímica del Arroyo Pescado Castigado.
En: Actas III Jornadas Nacionales de Geografía Física. Santa Fe, 97,103
- CIONCHI, J. L. (1982).
Análisis Morfométrico de las Cuencas de los Arroyos la Vigilancia y San Pedro, provincia de Buenos Aires Argentina.
V congreso latinoamericano de geológica, Argentina, Actas, IV: 27-36.
- CIONCHI, J. L. (1984).
Análisis de la distribución de pendientes en la cuenca del arroyo de los padres, Provincia de Buenos Aires.
IX Congreso Geológico Argentino., Actas IV:47-56. Buenos Aires.
- DALLA SALDA, L., (1999).
Cratón del Rio de la plata. El basamento granítico-metamórfico de Tandilia y Martín García.
Geología Argentina. Anales 29, (4):97. Subsecretaría de Minería.
- FRENGUELLI, J. (1950).
Rasgos Generales de la Morfología y Geología de la Provincia de Buenos Aires. Prov. de Buenos Aires,
M.O.P., LEMIT, serie II,33. La Plata.
- GROHMANN C. (2004).
Morphometric analysis in geographic information systems: applications of free software GRASS and R.
Computers & Geosciences 30 1055 -1067
- HORTON, R. E. (1932).
Drainage Basin Characteristics.
Transactions of the American Geophysical Union, nº 13: 350-361.
- HORTON, R. E. (1945).
Erosional Development of Stream and their Drainage Basin; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology.
Bulletin of Geological Society of America. Vol 56 N°3.

- KRUSE, E., LAURENCENA P, DELUCHI M., VARELA L. (1997).
 Caracterización de la Red De Drenaje para la Evacuación Hidrológica en la Región Interserrana (Provincia de Buenos Aires).
En: actas del I Congreso Nacional de Hidrogeología y II Seminario Hispano - Argentino sobre Temas Actuales de Hidrología Subterránea. Bahía Blanca, 13- 145.
- LIN, Z. Y OGUCHI, T. (2004).
 Drainage density, slope angle, and relative basin position in Japanese bare lands from high-resolution DEMs.
Geomorphology. Vol 53 pag 281 - 298
- MADDUMA BANDARA, C.M. (1974).
 Drainage density and effective precipitation.
Journal of hidrology, n° 21, pp.187-190.
- MARCHETTI, A. (1968).
 Estudio Hidrológico de la zona Sud de la Provincia de Buenos Aires, Informe Inédito INGM.
Carpeta N°578. Buenos Aires.
- MORISAWA, M, (1957).
 Accuracy of Determination of Stream Lengths From Topographic Maps.
Trans. Amer. Geophys. Union, 38 (1): 1025 -1046.
- QUIROZ O., MARTÍNEZ D., DAPENA C., MASSONE H. (2008)
 Hydrogeochemistry and Isotope Analyses Used to Determine Groundwater Recharge and Flow In Low-Gradient Catchments of the Province of Buenos Aires, Argentina. *Hydrogeology Journal. (2008).*
- RABASSA, J. (1977a).
 Interbasin areas: some observations on their relationships to drainage networks.
Boletim Paranaen. Geoc. Curitiba.
- RABASSA, J. (1977b).
 Los conceptos de orden y magnitud en redes de drenaje y su relación con el caudal de una cuenca fluvial.
VIII Congreso Nacional del Agua. Viedma.
- RABASSA, J. (1978)
 Geomorfología Cuantitativa de la Cuenca del Río Manso Superior, Río Negro, republica Argentina.
 Primera Parte: análisis de Horton. En: Revista de la Asociación Geológica Argentina, XXXIII (2):139 –157.
- SALA, M. Y GAY, R (1981).
 Algunos datos morfométricos de la cuenca del Isábena.
Notes de Geografía Física, N°4, pp. 41-65.
- SCHUMM, S.A. (1956).
 Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey.
Bul. Geol. Soc. Amer., 67:597-646
- STRAHLER, A. N. (1952).
 Dynamic basis of geomorphology.
Bulletin of the Geological Society of America 63,923-938.
- STRAHLER, A. N. (1957).
 Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology.
Trans. Amer. Geophys. Union. 38 (6): 913 –920.
- STRAHLER, A. N. (1979).
 Physical Geography.
Spanish version Edit Omega, Barcelona, Spain, 767 pp.
- STRAHLER, A.N. (1953).
 Revision of Horton's quantitative factor in erosional terrain.
Hidrologic section of american Geophysic. Union, Washington, D.C.
- THORNTWAITE C.W (1948).
 An approach towards a rational classification of climate.
Geographical review 38, 55-94.
- TUJCHNEIDER, O. Y DIAZ E. (1982).
 Aspectos Geomorfológicos Cuantitativos de la Porción Superior y Media de la Cuenca del Río Matanza. Provincia de Buenos Aires. Republica Argentina.
Acta Geológica Lilloana XVI, 1.
- VARELA, L. TERUGGI, L. (2001).
 Caracterización Hidrológica de la cuenca del Río Quequen Grande, provincia de Buenos Aires.
En: Memorias, Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas y Planificación Territorial. Pag. 19.
- VOGT, J., COLOMBO R., BERTOLO F. (2003).
 Deriving drainage networks and catchment boundaries: a new Methodology combining digital elevation data and Environmental characteristics.
Computer & Geosciences. Vol. 30. Pag 1055 - 1067.
- ZIMMERMAN, E. (2004).
 Análisis de Sistemas Hidrológicos.
Desarrollo de contenidos. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Rosario - República Argentina.