



Características del comportamiento hidrológico en áreas de llanuras basado en el análisis morfométrico. Caso de estudio: Arroyo del Tala. Provincia de Buenos Aires

Gaspari, Fernanda Julia ¹ ✉ - Kruse, Eduardo Emilio ²

Recibido: 19 de abril de 2011 • Aceptado: 19 de agosto de 2011

Resumen

El objetivo del trabajo fue analizar las características morfométricas y su influencia hidrológica en un sistema hidrológico transicional, como es la cuenca del Arroyo Del Tala. Se trata de una cuenca ubicada en la Pampa Ondulada Argentina, con pendientes bajas e irregulares y drenaje natural moderadamente bueno. El método se basó en la recopilación-interpretación de antecedentes para una caracterización morfométrica e hidrológica con apoyo SIG. En base a 8 descriptores morfométricos es posible reconocer que la respuesta a las crecidas es moderada a baja, indicando un escurrimiento superficial de una significación menor. La relación entre las características hidrogeológicas y la densidad de drenaje permiten deducir que la infiltración es una componente destacable en el balance hidrológico.

Palabras clave: llanura - red de drenaje - SIG

Abstract

The objective was to analyze morphometric and hydrological influence in a transitional water system, as is the basin of Del Tala. This is a watershed located in the Pampa Ondulada of Argentina, with low slopes and irregular and moderately good natural drainage. The method is based on the compilation, interpretation of data for a morphometric and hydrological characterization with GIS support. Based on eight morphometric descriptors can be recognized that the response to flooding is moderate to low, indicating a runoff of less significance. The relationship between the hydrogeological characteristics and drainage density can be concluded that infiltration is a prominent component in the water balance.

Keywords: plain - drainage - GIS

¹ Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas.
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UNLP.
Diagonal 113 N° 469, 3° piso. La Plata, Buenos Aires, Argentina.

✉ fgaspari@agro.unlp.edu.ar

² Cátedra de Hidrología General. Facultad de Ciencias Naturales
y Museo. UNLP. Av. 60 y 122. La Plata, Buenos Aires, Argentina

INTRODUCCIÓN

Las relaciones entre los comportamientos hidrológicos en los sistemas lineales y la morfometría han tenido un amplio desarrollo. A partir de las características geomorfológicas cuantitativas descritas por *Horton (1945)*, *Strabler (1952)*, *Shreve (1967)*, entre otros, han sido de utilidad para facilitar la transformación precipitación - escurrimiento. Incluso han llevado a la aplicación del concepto de hidrograma geomorfológico unitario (*Rodríguez Iturbe y Valdes, 1979*, *Gupta et al, 1983*, *Agnese et al, 1988*, *Rodríguez Iturbe, 1993*). Esta aplicabilidad es más dificultosa en sistemas areales, que son propios de los ambientes de llanura, los cuales naturalmente presentan un bajo potencial morfogenético, predominando los movimientos verticales del agua (evapotranspiración e infiltración) sobre los horizontales (escurrimientos) (*Fuschini Mejía, 1983*). En estos terrenos con pendientes topográficas extremadamente pequeña o nula, no existe suficiente energía hídrica para generar cauces y generalmente se encuentran indefinidas las divisorias de agua. Constituyen los denominados sistemas hidrológicos no típicos (*Fertonani y Prendes, 1983*) como contraposición del típico en que la cuenca de drenaje en la unidad hidrológica de estudio.

En algunos sectores de las llanuras de clima húmedo, si bien son características las bajas pendientes y la presencia de cobertura vegetal, existen evidencias que en determinados casos el escurrimiento en superficie se puede asociar a la saturación de la capacidad de almacenamiento subterráneo, dado por niveles freáticos situados a escasa profundidad o aflorantes. Esta situación origina incipientes procesos erosivos (*Kruse, 1992*) que pueden dar lugar a una red de drenaje de escasa densidad, lo cual permite que a partir de suaves divisorias (a veces vinculadas a bañados o lagunas) se organice el escurrimiento que es conducido hacia un punto de descarga. El comportamiento de estos sistemas hidrológicos que presentan características transicionales entre los típicos y no típicos, no significa una modificación en cuanto al comportamiento hidrológico general en una llanura.

El objetivo de este trabajo fue analizar las características morfométricas y su influencia hidrológica en un área de llanura, eligiéndose para ello como caso de estudio la cuenca de Arroyo del Tala en la Provincia de Buenos Aires.

MATERIALES Y MÉTODOS

El método aplicado en el desarrollo del trabajo se adaptó para la integración de las componentes del ciclo hidrológico y la morfometría en esta área de llanura.

Para ello se realizó la recopilación e interpretación de antecedentes, como ser: topografía, hidrogeología, condiciones geológicas particulares, procesos hidrológicos dominantes, y una caracterización general morfométrica de la cuenca.

El análisis de las características morfológicas de la cuenca del Arroyo del Tala, se realizó a través de la determinación de parámetros de forma, de relieve y relativos a la red hidrográfica. Para definir la morfometría de la cuenca se seleccionaron los siguientes descriptores: factor de forma (IF), coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc), Índice de alargamiento (Ial), índice de homogeneidad (Ih), densidad de drenaje (Dd), pendiente media del cauce (J), pendiente media de la cuenca (PM) y coeficiente de rugosidad (Ra), determinados según la metodología propuesta por *López Cadenas del Llano (1998)*.

Se esquematizó la morfología y topografía de la cuenca del Arroyo Del Tala, utilizando un modelo cartográfico con Sis-

tema de Información Geográfica (SIG), por medio de la aplicación de diferentes metodologías de interpolación espacial de datos. Además se implementó para la caracterización hidrogeológica regional.

El SIG conforma herramientas tecnológicas muy adecuadas para analizar la regionalización de variables hidrológicas así como la clasificación de áreas homogéneas ecológicamente (*Usunoff et al, 1999*).

El procesamiento SIG de la información cartográfica digital se realizó con tecnología de Idrisi Andes[®] (*Eastman, 2003*) de Clark Labs for Cartographic Technology and Analysis. Clark University y con apoyo de diseño asistido por el programa AutoCAD[®] y Surfer 5.0[®].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características generales

La unidad de estudio está representada por la cuenca hidrográfica del Arroyo del Tala (89.211 has), situada al norte de la provincia de Buenos Aires (entre latitud sur 33°40' y 33° 60') y entre longitud oeste 59°30' y 60°15'), ocupando parcialmente los partidos de Ramallo, San Pedro, Pergamino y Bartolomé Mitre (Figura 1).

Esta cuenca presenta un paisaje suavemente ondulado, con un desnivel de 68 metros sobre el nivel del mar, indicando una pendiente regional del orden de 0,098%.

La precipitación en la cuenca es característica de un clima húmedo (precipitación media anual de la Estación Experimental Agropecuaria San Pedro de INTA (Latitud: 33° 41' S - Longitud: 59° 41' W) de la Serie Histórica 1965 - 2008: 1.051,4 mm) registrándose ocasionales crecidas de magnitud. Los mayores excesos hídricos se producen durante el otoño - invierno y el déficit más significativo en el verano. El clima es templado húmedo, registrando temperaturas medias mensuales, en la misma estación INTA y período, que oscilan entre los 10,3 y 23,9 °C (*INTA, 2010*).

En el esquema hidrogeológico adquieren importancia práctica dos unidades: 'Arenas Puelches' y 'Sedimentos Pampeanos' (*Sala, 1975*). Estas unidades presentan una alternancia de secciones productivas separadas por sedimentos de menor permeabilidad que conforman un acuífero multiunitario. El nivel superior conocido como Pampeano está integrado por limos, y en forma subordinada por arenas y arcillas de color castaño rojizo, presentando con frecuencia concreciones o bancos de carbonato de calcio. Este nivel incluye a la capa freática, cuya profundidad, en condiciones naturales, varía entre 5 y 10 metros. Por debajo del Pampeano se sitúan las Arenas Puelches que representan al acuífero más importante del Noreste de la Provincia de Buenos Aires. Se trata de una secuencia de arenas cuarzosas finas a medianas, con un tamaño de grano que aumenta en profundidad.

El agua subterránea es utilizada para distintos fines (agua potable, riego, industrias, ganadería) y ello ha tenido influencia en el desarrollo socioeconómico y un papel fundamental en las variaciones ambientales (sequías e inundaciones) dada su vinculación directa con el agua superficial.

El 90% presenta suelos de aptitud agrícola, con drenaje natural moderadamente bueno. Morfológicamente se observa: la llanura alta en la cabecera, la llanura intermedia con un relieve más marcado donde se reconocen cursos pequeños y la llanura baja representando la sección inferior con carácter inundable.

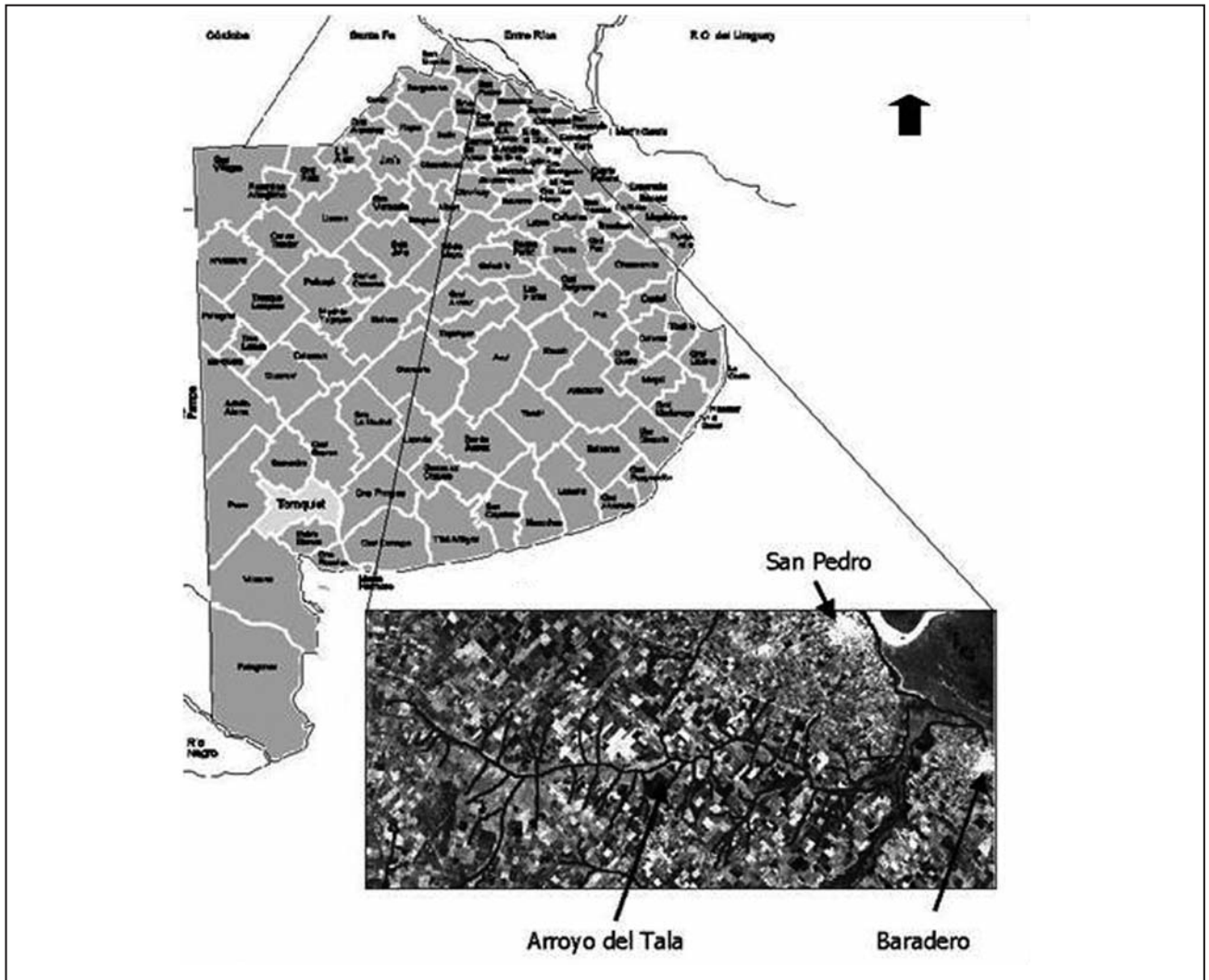


Figura 1. Mapa de ubicación de la cuenca del Arroyo del Tala, Prov. Buenos Aires, Argentina.

El uso agrícola ganadero es el predominante en la cuenca, siendo los cultivos como la soja, el trigo y maíz y la ganadería vacuna, los de mayor distribución (Michelena et al, 1989).

Morfometría

El análisis morfométrico de la cuenca permitió evaluar los descriptores (Tabla 1) desde un punto de vista tradicional relacionado con el escurrimiento superficial y además una interpretación vinculada con los procesos dominantes en la llanura.

Para el primer caso los parámetros morfométricos en la cuenca del Arroyo del Tala indican que la forma es oval - oblonga a rectangular oblonga, que presupone que es poco susceptible a las crecidas, cuyas aguas escurren en general por un solo curso principal (IF - Kc).

La densidad de drenaje natural (Dd), es relativamente baja, en relación a la superficie de la cuenca (A), generando áreas de almacenamiento superficial, como ser los bañados y lagunas intermitentes. La Dd baja, indica que la respuesta de la cuenca frente a una tormenta es moderada a lenta, considerando los cursos de agua permanentes y transitorios de mayor envergadura, que se ve favorecido por el factor topográfico y el coeficiente de rugosidad.

Tabla 1. Caracterización morfométrica.

Identificador	Unidad de medida	Resultado
(P)	km	158,39
(La)	km	60,07
(A)	km ²	892,11
(Ap)	km	18,85
(IF)	Adimensional	0,24
(Kc)	Adimensional	1,49
(Ial)	Adimensional	2,54
(Ih)	Adimensional	0,58
(Dd)	km km ⁻²	0,35
(J)	Porcentaje	0,08
(PM)	Porcentaje	0,0003
(Ra)	Adimensional	0,02

La baja pendiente (J - PM) genera un mayor tiempo de concentración y un mayor tiempo de acumulación de aguas - almacenamiento.

El Ra establece que la cuenca presenta una baja relación entre el desnivel y la densidad de drenaje, generando una leve rugosidad. El perfil longitudinal de la cuenca expresa una depresión de forma suavemente parabólica. Este mismo diseño se observa en los perfiles transversales sobre la cuenca superficial, con aspecto de capa moderadamente radial convergente.

Las características descriptas permiten reconocer que el escurrimiento superficial en condiciones normales adquiere una

significación menor. A su vez ello refuerza el concepto de la importancia de los movimientos verticales del agua.

Desde ese punto de vista, la cuenca se caracteriza por presentar una fuerte interrelación entre el agua superficial y subterránea.

Las divisorias de aguas superficiales de la cuenca coinciden, en gran parte, con las subterráneas y es posible que las pequeñas variaciones se deban en parte a la distinta precisión con que se ha trabajado en los relevamientos (Figura 2).

La red de flujo subterráneo (Figura 3), actualizada a partir de *EASNE (1972)*, refleja esta situación y el espaciamiento

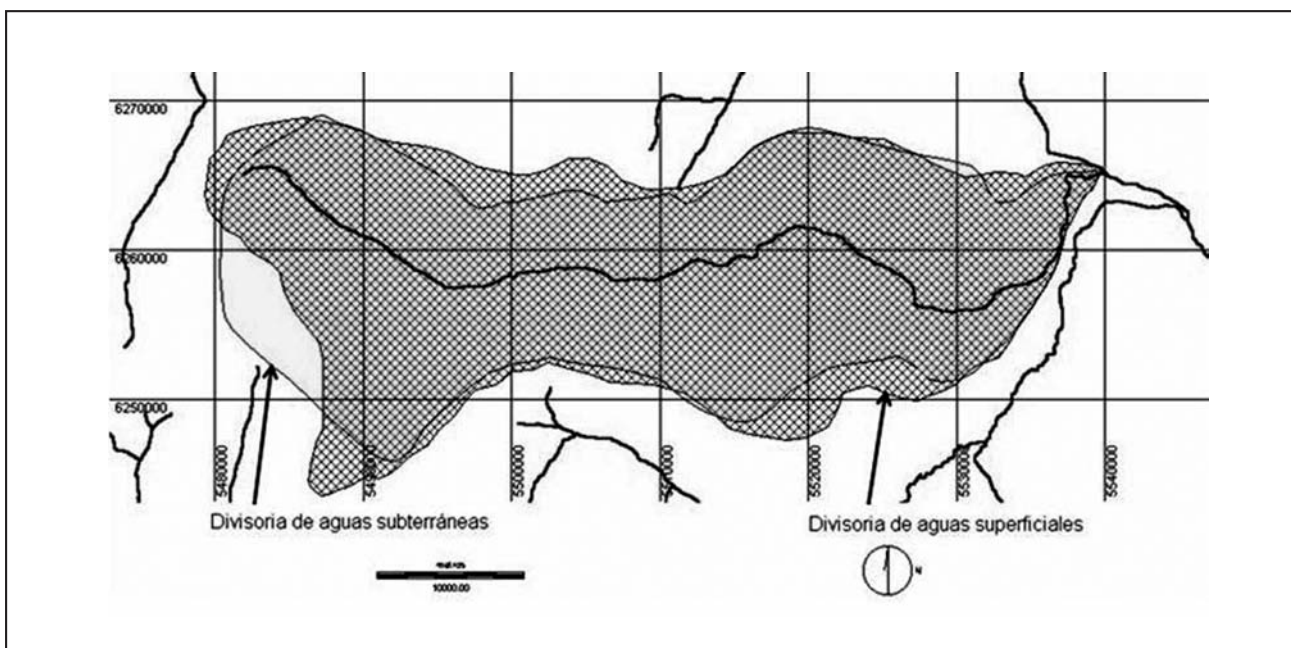


Figura 2. Divisorias de aguas superficial y subterránea de la cuenca del Arroyo del Tala.

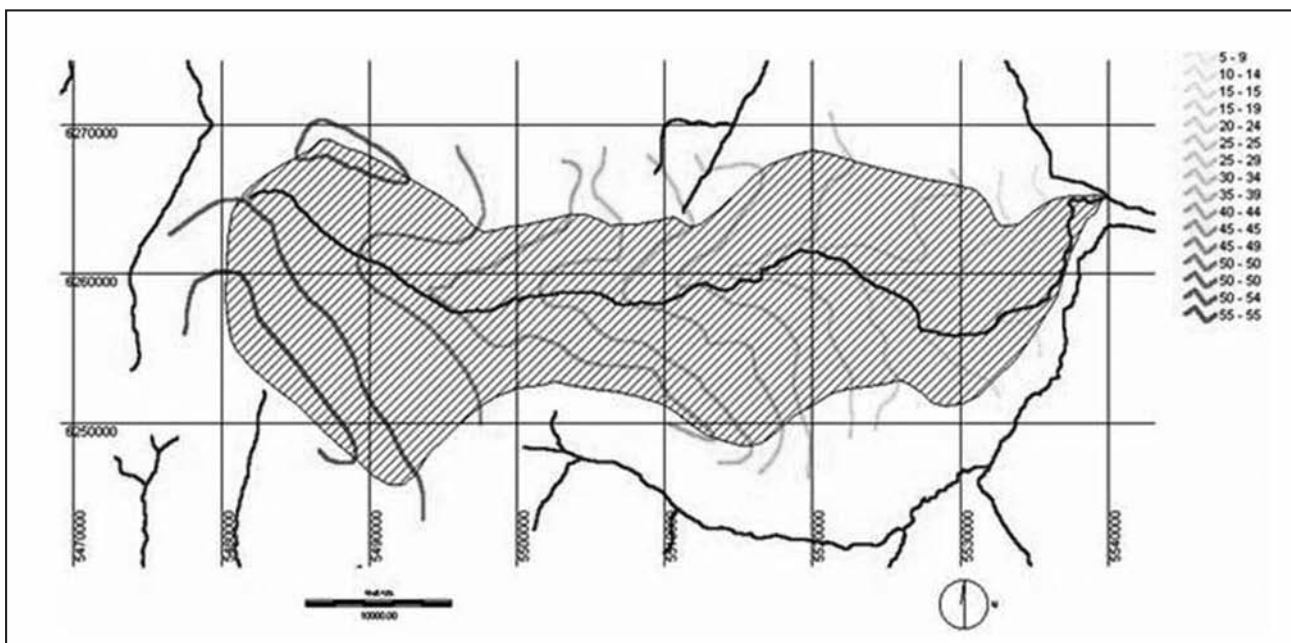


Figura 3. Líneas isofreáticas y divisoria de agua subterránea del Arroyo del Tala. Equidistancia 5 metros.

de las curvas isofreáticas permite reconocer escasas variaciones en los espesores saturados (zonas de una mayor infiltración) y en la permeabilidad del medio.

La Figura 4 manifiesta la orientación de descarga subterránea que representa la dirección del escurrimiento subterráneo, que coincide con la dirección de flujo superficial. Las zonas de recarga dominante se localizaron en la porción superior de la cuenca; mientras que la descarga se materializa en el curso principal.

El carácter relativamente homogéneo de las unidades litológicas aflorantes hace que los factores morfológicos presenten un control en el comportamiento hidrológico. Un incremento en el flujo subterráneo en la llanura alta se refleja generalmente solo como un mayor espaciamiento en las curvas; mientras que en las vecindades de las zonas de descarga hay una aceleración en el flujo, acompañada de un aumento de gradiente.

Las características señaladas asociadas a la homogeneidad climática regional permiten plantear preliminarmente una relación entre la morfometría y las condiciones hidrogeológicas, siendo esta última representada fundamentalmente por transmisividad de la capa freática y la densidad de drenaje.

Es posible asumir que existe una relación entre la transmisividad de la capa freática (T) y la densidad de drenaje (Dd) en el concepto de *Horton (1945)*. Aunque es evidente que esta no es una relación directa ya que existen otros factores que pueden tener influencia.

En las condiciones expuestas para la cuenca del Arroyo del Tala, clima húmedo y con cursos efluentes con respecto al agua subterránea, es posible plantear dicha relación, que estaría dada (*Custodio y Llamas, 1996*) por: $T = W / 8 Dd^2 \Delta h$. Se

puede deducir que conociendo, en la cuenca del Arroyo del Tala, el valor de la transmisividad de medio (T), la diferencia de elevación máxima de la capa freática y el nivel en el río en una sección (Δh) y la densidad de drenaje (Dd) es posible valorar preliminarmente la infiltración eficaz (W). Por ello, siendo la transmisividad media de la unidad hidrogeológica superficial del orden de $100 \text{ m}^2/\text{día}$, la Δh de 5 m y la Dd de $0,35 \text{ km}/\text{km}^2$, el valor de infiltración eficaz (W) es de aproximadamente $180 \text{ mm}/\text{año}$. Este valor representa alrededor del 18% de la precipitación anual, que al mismo tiempo es agua aportada al curso por escurrimiento subterráneo.

Si bien puede considerarse un valor relativamente alto, existen antecedentes de estimaciones similares en distintos sectores de la llanura, lo cual permite verificar la significación que adquiere el proceso de infiltración en una región de llanura como la analizada.

CONCLUSIONES

Las características morfométricas de la cuenca del Ao. Del Tala permiten reconocer una baja susceptibilidad a las crecidas, mostrando una respuesta moderada a lenta frente a una tormenta y un retardo en la acumulación de agua y las crecidas. De esta forma se reconoce que el escurrimiento superficial, en condiciones normales, adquiere una significación menor, a diferencia de lo que ocurre con la infiltración e interrelación entre aguas subterráneas y superficiales.

A partir de la densidad de drenaje y condiciones hidrogeológicas es posible deducir un valor de infiltración que en una primera aproximación resulta coherente con el comportamiento hidrológico de la cuenca.

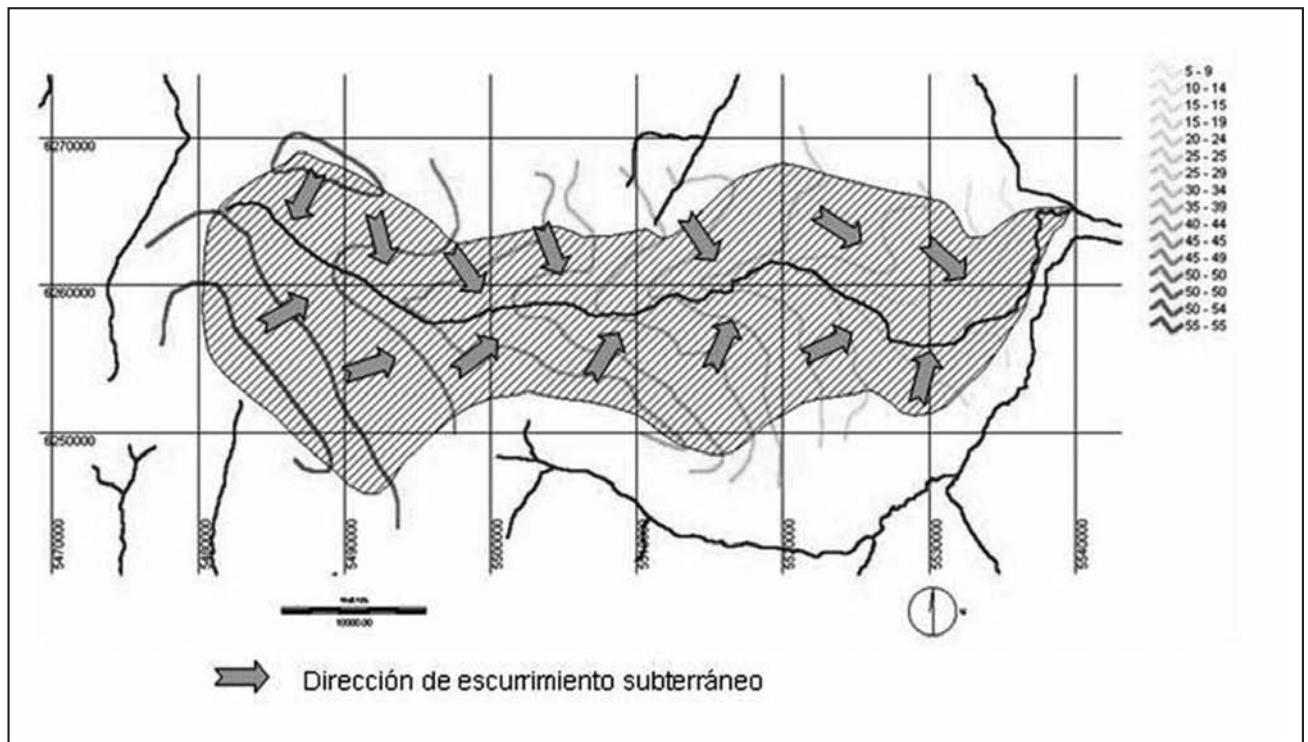


Figura 4. Dirección de descarga subterránea en la cuenca subterránea, con líneas isofreáticas.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AGNESE, C., DASARO Y G.GIORDANO. 1988.
Estimation of the time scale of the geomorphologic instantaneous unit hydrograph from effective streamflow velocity.
Water Resour. Res., 24 (7): 969 - 978.
- CUSTODIO E. Y M.R.LLAMAS. 1996.
Hidrología Subterránea.
Ed. Omega. Barcelona. T2. pp 2276 – 2283.
- EASNE. 1972.
Contribución al estudio geohidrológico del noreste de la provincia de Buenos Aires.
CFI. Serie Técnica 24. Tomos 1 y 2. Buenos Aires.
- EASTMAN, J.R.. 2003.
Guía del usuario digital. IDRISI Kilimanjaro.
Clarks Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis. Clark University. USA.
- FERTONANI, M. Y H. PRENDES. 1983.
Hidrología en áreas de llanura. Aspectos conceptuales teóricos y metodológicos.
Coloquio Internacional sobre hidrología de grandes llanuras. Olavarría, Argentina. Tomo I: 120 – 156.
- FUSCHINI MEJIA, M.C. 1983.
Editor. Hidrología de Grandes Llanuras.
Actas del Coloquio de Olavaria. PHI - UNESCO. Olavaria.
- GUPTA, V.K. Y WAYMIRE, E. 1983.
On the formation of analytical approach to hydrologic response and similarity at the basin scale,
J. Hydrol. 65: 95 - 123
- HORTON, R.E. 1945.
Erosional development of stream and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology.
Geol. Soc, Am. Bull, 56: 275 - 370.
- INTA. 2010.
Estadísticas climatológicas. 1965 / 2007.
Estación Experimental Agropecuaria San Pedro. Buenos Aires. Edición Web.
<http://www.inta.gov.ar/sanpedrol/infomet/otros/resumen2008.htm>.
- KRUSE, E. 1992.
El agua subterránea y los procesos fluviales en la región centro - oriental de la Provincia de Buenos Aires.
Situación Ambiental de la Provincia de Buenos Aires: II: 15 (13-31). Comisión de Investigaciones Científicas. La Plata.
- LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F. 1998.
Restauración Hidrológica Forestal de cuencas y Control de la Erosión.
Ingeniería Medioambiental. TRAGSATEC. Min.Medio Ambiente. Ed. Mundi Prensa. España. 945 pp
- MICHELENA, R; IRURTIA, C.; VAVRUSKA, F; MON, R. Y A.PITTALUGA. 1989.
Degradación de suelos en el norte de la Región Pampeana.
Publicación técnica N°6. EEA Pergamino. INTA. 120 pp.
- RODRÍGUEZ ITURBE, I. 1993.
The geomorphological unit hydrograph.
In Channel Network Hydrology. John Willey and Sons. New York.
- RODRÍGUEZ ITURBE, I. Y VALDES, J.B. 1979.
The geomorphologic structure of the hydrologic response.
Water Resour. Res., 15 (6): 1409 - 1420.
- SALA, J. M. 1975.
Recursos Hídricos. Especial Mención de las Aguas Subterráneas.
Relatorio Geología de la Provincia de Buenos Aires. V Congreso Geológico Argentino. Buenos Aires.
- STRAHLER, A.N. 1952.
Hypsometric (area – altitude) analysis of erosional topography.
Geol. Soc, Am. Bull, 63: 1117 - 1142.
- USUNOFF E, VARNI M, WEINZETTEL P. Y R.RIVAS. 1999.
Hidrogeología de grandes llanuras: La pampa húmeda argentina.
Boletín Geológico y Minero. 110 (4). 391-406. ITGE-IAH-UNESCO.