



Investigaciones Geográficas (Mx)
ISSN: 0188-4611
edito@igg.unam.mx
Instituto de Geografía
México

Campo, Alicia María; Aldalur, Nélida Beatriz; Fernández, Sandra Noemí
Morfometría fluvial aplicada a una cuenca urbana en Ingeniero White, República Argentina
Investigaciones Geográficas (Mx), núm. 77, 2012, pp. 7-17
Instituto de Geografía
Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56923353002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Morfometría fluvial aplicada a una cuenca urbana en Ingeniero White, República Argentina¹

Recibido: 25 de abril de 2011. Aceptado en versión final: 13 de julio de 2011.

Alicia María Campo*

Nélida Beatriz Aldalur**

Sandra Noemí Fernández**

Resumen. La morfometría fluvial estudia diversas variables que caracterizan la forma de una cuenca de drenaje. El objetivo de este trabajo es aplicar el método morfométrico de cuencas naturales a una cuenca urbana. El área en estudio (6 km^2) drena sus aguas al frente costero y comprende la localidad de Ingeniero White, República Argentina. Se realizó la jerarquización de la red de drenaje. Se identificaron tres subcuencas con escasa pendiente que presentan eventos de inundación, con mayor peligrosidad con precipitaciones extremas. Los valores de relación de longitud indicaron mayor concentración de energía en eventos de grandes avenidas. Los valores de relación de elongación demostraron que una de las subcuencas es de forma circular y presenta

mayor velocidad en las avenidas de la escorrentía. Las dos cuencas más elongadas tienen mayor retardo en las avenidas. El mayor caudal del área en estudio fluye por la cuenca que posee el mayor número de orden y la mayor superficie. Las otras dos cuencas están sujetas a crecientes instantáneas y de respuesta inmediata. Los valores de pendiente y de área aplicados a modelos hidrológicos e hidráulico determinaron la sección de los conductos y canales. El caudal calculado para el área drenada fue de $22.41 \text{ m}^3/\text{s}$.

Palabras claves: Morfometría, cuenca urbana, Tecnologías de la Información Geográfica (TIG), Ingeniero White, República Argentina

Fluvial morphometry applied to an urban watershed in Ingeniero White, República Argentina

Abstract. The fluvial morphometry studies several variables that characterize the form of a drainage basin. The aim of this paper is to apply the natural watershed morphometric method to an urban watershed. The study area (6 km^2) drains its waters into the waterfront and includes the town of Ingeniero White, República Argentina. Hierarchical organization of the drainage network was done. Three sub-basins that have low-gradient flood events, most dangerous extreme rainfall, were identified. The length relationship

values showed greater concentration of power in event of major avenues. The elongation relationship values showed that one of the sub-basins is circular and has more speed in the avenues of runoff. The two elongated basins have greater delay in the avenues. The increased flow of the study area flows through the basin that has the largest number of order and the largest area. The other two basins are subject to increasing surface snapshot and immediate response. The slope and area values applied to hydrologic and hydraulic

¹ Este trabajo forma parte del Proyecto “La Geografía Física del Suroeste de la provincia de Buenos Aires. Relaciones del hombre y el medio natural”, cuenta con el apoyo de la SGCyT de la Universidad Nacional del Sur.

* Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur-CONICET, 4º piso - 12 de octubre y San Juan, 8000, Bahía Blanca, República Argentina E-mail: amcampo@uns.edu.ar

** Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur, Avenida Alem 1253, 8000, Bahía Blanca, República Argentina. E-mail: baldalur@criba.edu.ar; sanfer@criba.edu.ar

models determined the section of the ducts and channels. The calculated flow for the area drained was 22.41 m³/s.

Key words: Morphometry, urban watershed, Geographic Information Technologies, Ingeniero White, República Argentina.

INTRODUCCIÓN

El estudio de una cuenca urbana requiere del análisis de muchos factores y de la intervención de distintas disciplinas. La hidrología de este paisaje es un aspecto importante y único a estudiar. Las modificaciones humanas cobran gran valor en el análisis de estas redes de drenaje. El hombre reduce o aumenta el caudal con la construcción de obras de arte, las que se definen como las estructuras hidráulicas que hacen el funcionamiento del conjunto de una obra, como por ejemplo canales, compuertas, sumideros, alcantarillas, etc. Estas nuevas estructuras intervienen en la creación de nuevos niveles de base que modifican la energía del caudal aguas arriba y/o aguas debajo de las mismas, interponen conductos en los cruces de ruta y vías férreas y canalizan redes cambiando la trayectoria del agua (Senciales, 1999). Lo que en un principio era una red de drenaje natural va transformando sus patrones originales en otros más antropizados.

El término morfometría fluvial es empleado para denotar la medida de las propiedades geométricas de la superficie sólida de un sistema de erosión fluvial (Strahler, 1979). Strahler considera a la cuenca como un sistema geométrico plano, estudiado con el fin de cuantificar la evolución, definir el estadio en que se encuentra y evaluar su estado erosivo. En la morfometría fluvial se estudian diversas variables morfométricas que caracterizan la forma de una cuenca de drenaje. Estas características desempeñan un papel esencial en el análisis de variables físicas y de algunos componentes del ciclo hidrológico (erosión, infiltración, escurrimiento, etc.) de una cuenca natural (Strahler, 1979; Jardí, 1985; Senciales, 1999, Gil *et al.*, 2009). En una cuenca natural la interferencia del hombre se limita a alcantarillas, puentes y canales que van desviando las aguas

y que no dejan de ser considerados a la hora de establecer los parámetros morfométricos.

En el caso del estudio de una cuenca urbana, la intervención humana está presente en el mayor porcentaje de la cuenca y son las distintas infraestructuras las que guían y condicionan el camino del agua. En este ámbito, es posible realizar el cálculo de algunos de los índices y parámetros morfométricos propios de las cuencas naturales, algunos de los que luego pueden ser utilizados en la ejecución de diferentes modelos para la planeación y administración.

El objetivo de este trabajo es aplicar en la cuenca hidrográfica urbana de Ingeniero White el método para determinar la morfometría en cuencas naturales. Se desarrolla este método por analogía entre una cuenca urbana y una cuenca natural. Los parámetros e índices que se calcularon permitieron caracterizar la cuenca y su comportamiento en eventos de precipitaciones. Algunos de estos resultados (pendiente y área) fueron aplicados exitosamente en el modelo hidrológico HidroEsta que determina el caudal pico empleando la fórmula del método racional y en el modelo hidráulico HCanales utilizado en el control de obras civiles (Villón Béjar, 1994, 2004, 2011a y b).

ÁREA EN ESTUDIO

La localidad de Ingeniero White se encuentraemplazada en las cercanías de la ciudad de Bahía Blanca en la provincia de Buenos Aires, República Argentina, a pocos kilómetros del Océano Atlántico, a los 38° 44' 06'' de latitud Sur y 62° 14' 02'' de longitud Oeste en contacto con el estuario de Bahía Blanca. Ingeniero White le da nombre a un importante puerto de aguas profundas y se halla a 7.5 km de la ciudad de Bahía Blanca. El área en estudio comprende un amplio sector de aproximadamente 6 km² y drena sus aguas al frente costero. El estuario recepciona todo el escurrimiento de esta área en donde desaguan tres redes de drenaje bien diferenciadas, por lo que se pueden delimitar así tres cuencas en toda el área. Una de éstas fue nuevamente subdividida con vistas a realizar a futuro el diseño de toda el área estudiada. El escaso desnivel

es el protagonista y el emplazamiento del hombre sobre este espacio es el modificador permanente de las distintas cuencas.

El crecimiento urbanístico que tuvo este sector, sumado al mal encauzamiento de las aguas, ocasionaron reiterados sucesos de anegamientos e inundaciones a lo largo de los años que tuvieron como lugar crítico la zona céntrica de la localidad de Ingeniero White. Estos hechos se repitieron en diversas oportunidades y por diferentes causas. El estudio de esta cuenca cobra importancia desde el punto de vista geográfico, para ello se realiza en este trabajo el análisis de los índices y parámetros morfométricos.

Los excesos de agua pluviales en la ciudad de Bahía Blanca presentan actualmente tres posibilidades de evacuación: arroyo Napostá Grande, canal Maldonado y el frente litoral Atlántico. Este último camino del agua es el que corresponde al área en estudio (Figura 1). La zona involucra al sector sureste de la ciudad y se relaciona con barrios y villas periféricas. El principal problema de esta área deriva de la topografía caracterizada por pendientes casi nulas con desarrollo de grandes bajos inundables y una notoria dificultad para el drenaje de las aguas hacia el mar. El contacto con el estuario y sus mareas somete al área a recurrentes inundaciones en sucesivos eventos de Sudestada. La Sudestada es un estado de tiempo típico de la costa bonaerense argentina que se caracteriza por vientos fríos e intensos del cuadrante Sureste con velocidades superiores a los 35 km/h, precipitaciones de diversa intensidad, temperaturas bajas en días sucesivos y humedad proveniente del océano (Campo de Ferreras *et al.*, 2004). La situación deficitaria del escurrimiento se agrava aún más como consecuencia de la presencia de las rutas de acceso a puertos, de las vías férreas y de la urbanización que se ha incrementado en el transcurso de los años (Aldalur *et al.*, 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

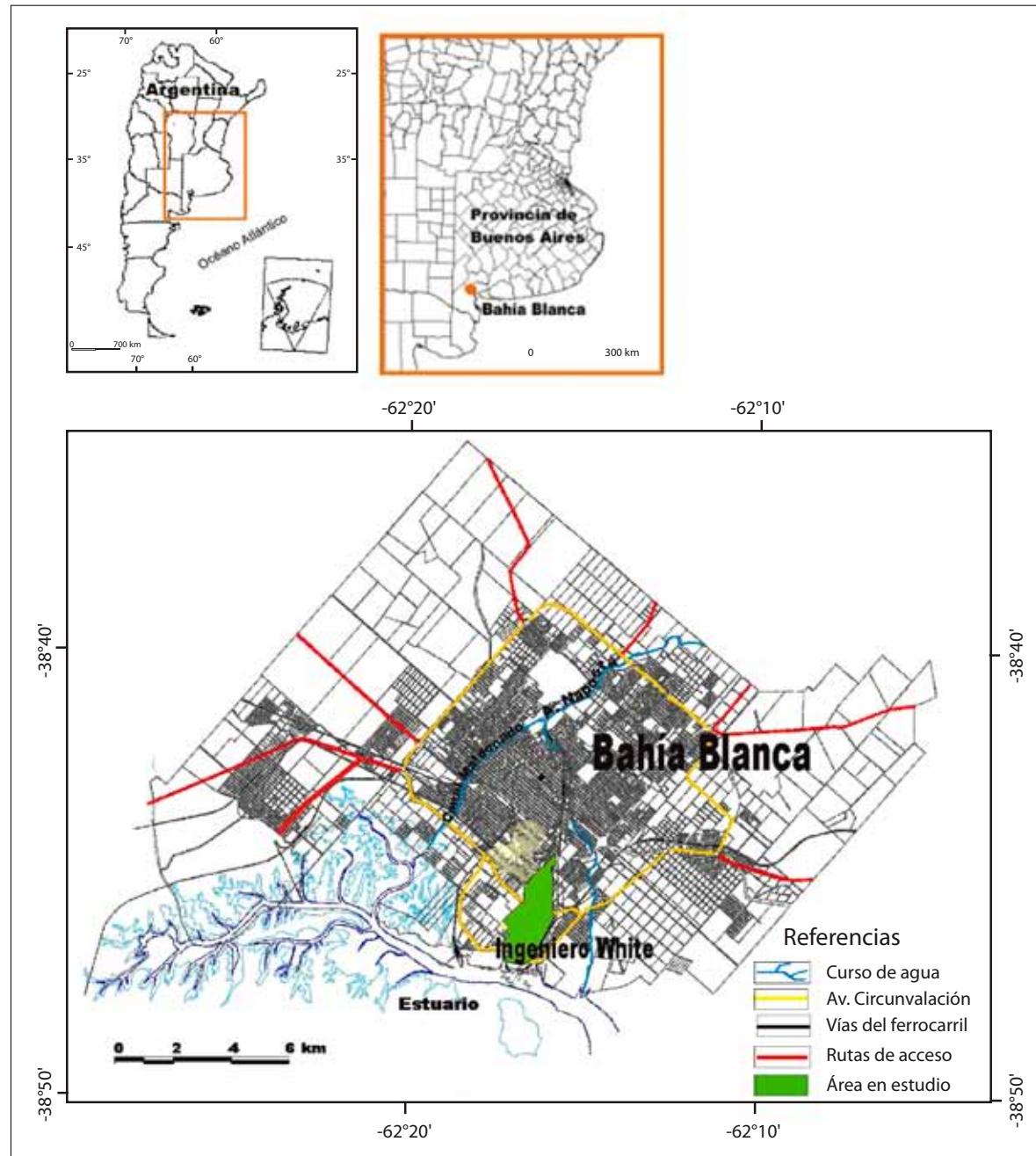
Para determinar los diferentes índices y parámetros morfométricos de la cuenca urbana, se emplearon Tecnologías de la Información Geográfica (TIG). Se confeccionó un sistema de información geográ-

fica (SIG) armado sobre la base de 28 fotografías aéreas pancromáticas del 2005 rectificadas y georeferenciadas con puntos elevados en campaña mediante Sistemas de Posicionamiento Global¹ (GPS). El SIG elegido fue ArcView 3.1 acompañado de los módulos Image Analysis y 3D Analyst. Se emplearon varias extensiones de libre adquisición a través de la web. Para la salida cartográfica se empleó el SIG ArcView 9.1. Las geotecnologías o TIG son un conjunto de herramientas que facilitan la recolección, manejo y análisis de diferentes datos (Chuvieco *et al.*, 2005; Ehrensperger *et al.*, 2007; Gentili y Gil, 2009). Las TIG apoyan nuevas formas de investigación de diversas disciplinas especialmente de las asociadas con las Ciencias de la Tierra (Rodrigo Hidalgo *et al.*, 2004). Estas tecnologías digitales ofrecen muchas aplicaciones, siendo el SIG la herramienta que las engloba y por medio de la cual se realizan análisis socioespaciales con el fin de dar soluciones a las problemáticas de gestión y planificación territorial (Buzai y Baxendale, 2006).

La medición de los puntos de control se realizó con equipos GPS geodésicos Trimble 4800 de doble frecuencia. Se trabajó con el método del posicionamiento diferencial estático que es el más adecuado para la medición de bases largas, dado que las sesiones de observaciones largas permiten un cuidadoso tratamiento de los errores sistemáticos (Perdomo *et al.*, 1998). Esto significa que se trabajó simultáneamente con dos equipos posicionados sobre dos puntos que observan sincrónicamente los mismos satélites. Uno de los puntos, denominado punto base, fue la Estación Permanente Bahía Blanca (EPBB) y se encuentra emplazado en la Universidad Nacional del Sur sobre un punto trigonométrico que se denomina VBCA (Vínculo Bahía Blanca). Sus coordenadas se conocen en forma precisa y está ligado a la Red POSGAR (Posiciones Geodésicas Argentinas).

Las fotografías aéreas fueron la base sobre la que se digitalizaron posteriormente las diferentes capas. Los fotogramas no contaban con ningún tipo de corrección, el vuelo no se encontraba rectificado ni restituido, por lo tanto, poseía los errores propios

¹ Se conserva la sigla en inglés, GPS (Global Positioning System).



Fuente: elaboración propia sobre la base del plano vectorial de la Municipalidad de Bahía Blanca, 2009 (Aldalur, 2010).

Figura 1. Ubicación del área en estudio.

del mismo, producidos por el avión: error de efecto de relieve, error de inclinación de la cámara aérea y error en la escala. Estos dos últimos errores se corrieron al realizar la rectificación de cada fotografía. La escala de las fotografías es 1:5 000 y fueron escaneadas a una resolución de 500 dpi, lo que permitió tener un tamaño de píxel en la foto de 0.051 mm cuya correspondencia es de 0.254 m en el terreno.

La red de drenaje urbana fue digitalizada en el SIG. Se determinó la jerarquía de cada cauce de esta cuenca urbana mediante la aplicación del método de Strahler (1964). Esta metodología de una cuenca natural define la jerarquía de los cauces asignando un orden número uno a las fuentes, o sea, a los extremos de la red que recogen la escorrentía. Los cauces de segundo orden son la resultante de la unión de dos o más segmentos de primer orden y así sucesivamente. Cuando dos corrientes de orden igual se juntan, al canal resultante se le asigna el orden anterior más uno. Si se juntan corrientes de diferente orden, el canal aguas abajo conserva el mayor de los dos órdenes (*Ibid.*). Senciales (1999) estableció la importancia de jerarquizar la red de drenaje para utilizarlas como unidades de diagnóstico y realizar posteriores análisis morfométricos.

Para la cuenca urbana se siguió el mismo criterio; se marcó el flujo del agua a través de las calles. Esto se hizo a partir de la carga en el SIG de los datos de altura provistos por 19 planos de proyectos de cordón cuneta de toda la zona en estudio, suministrados por el Departamento de Vialidad de la Municipalidad de Bahía Blanca. Esta información fue actualizada y controlada en campo. Se contemplaron los conductos existentes y se los consideró como drenajes conductores del agua. Los canales a cielo abierto construidos por el hombre y los cursos de agua naturales sobre terrenos sin urbanización formaron parte de esta jerarquización.

Los índices morfométricos calculados fueron: relación de bifurcación, relación de longitud y relación de elongación, y los parámetros determinados: orden, área y pendiente media (Gil, 2009).

La *relación de bifurcación* (R_b) es la proporción que existe entre el número de segmentos de un orden (N_o) y el número de segmentos de orden inmediatamente superior (N_{os}). El promedio R_b de estos valores parciales se puede tomar como un

valor representativo de la cuenca y es considerado característico del sistema y de su torrencialidad (Strahler, 1964):

$$R_b = N_o / (N_{os})$$

La *relación de longitud* (R_l) es definida por Horton (1945) como la proporción existente entre la longitud media de los segmentos de un orden dado (L_o) y la de los segmentos del orden inmediato inferior (L_{oi}).

$$R_l = L_o / (L_{oi})$$

El cálculo de la razón o *relación de elongación* (R_e) o factor de forma es de gran interés ya que se relaciona con la forma de la cuenca. Se determina como la razón entre el diámetro de un círculo que posee la misma área que la cuenca y la longitud del cauce principal que la drena (Sala y Gay, 1981). Fue elaborado por Schumm (1956) y es la fórmula más extendida para calcular la elongación debido a que es la que mejor correlación guarda con la hidrología de la cuenca.

La superficie es el parámetro más importante de la cuenca, siendo el que regula la intensidad de varios fenómenos hidrológicos tales como el caudal, el volumen de precipitación, etc. (Llamas, 1993). El cálculo del área de la cuenca permite cuantificar su tamaño y utilizarlo en la elaboración de varios índices (Gil, 2009). Chow *et al.* (1999) definen como cuencas pequeñas aquellas con áreas menores a 250 km², cuencas medianas entre 250 y 2 500 km² y cuencas grandes las que poseen áreas mayores a los 2 500 km². Es necesario conocer la superficie que drena toda la cuenca urbana ya que en función de ella será el aporte del agua que recibirán los colectores.

La influencia de la morfometría de una cuenca en la generación de una inundación en cuencas pequeñas es uno de los factores mencionados por López (2000). Costa (1987) estudió diversos parámetros morfométricos en cuencas con superficies entre los 0.39 y 370 km². Martínez (1986) comparó resultados obtenidos en cuencas de reducida superficie.

La pendiente media constituye un elemento importante en el efecto del agua al caer a la superficie

debido a la velocidad que adquiere y a la erosión que produce (Maderey, 1973). Llamas (1993) la define como el cociente entre la diferencia de elevación máxima "H" medida entre el punto más alto del límite de la cuenca y la desembocadura de la misma y la mitad del perímetro de la cuenca.

El valor de las pendientes para las cuencas en que fue caracterizada el área se determinó en función del cociente entre: *a)* la diferencia de altura entre dos puntos (el punto más alejado de la cuenca y de mayor cota y el punto donde drena la cuenca) y *b)* la distancia existente entre ambos (Chow *et al.*, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Jerarquización de la red: el resultado de la jerarquización después de trazada la red se muestra en el Cuadro 1 y en la Figura 2. Se reconocieron tres cuencas que drenan hacia el estuario de Bahía Blanca.

La cuenca I corresponde a la zona Este que corre paralela a las vías del ferrocarril, un colector principal recibe todas las aguas por su lado derecho, alcanzando un orden 3. La cuenca II involucra al casco urbano de Ingeniero White y recibe la mayoría de sus colectores por el lado izquierdo formando una cuenca que no tiene simetría en su trazado y que llega a un orden 4. La cuenca III alcanza el orden 5 y desagota sus aguas a través de un canal (Canal Profertil). A ella pertenecen la mayor cantidad de colectores que escurren de la parte Norte.

Donde la escorrentía era laminar no se materializó ninguna red. En este punto fue importante detectar los procesos laminares en las áreas no urbanizadas que posee la cuenca, se trató de delimitar claramente dónde la erosión se transformaba en un proceso estable (Senciales, 1999). La fotografía

Cuadro 1. Número de segmentos de los diversos órdenes jerárquicos

Orden jerárquico	5	4	3	2	1	Total
Cuenca I			7	12	34	53
Cuenca II		1	2	9	23	34
Cuenca III	7	10	26	64	176	266

aérea fue imprescindible para ello. Si bien la interpretación a vista desnuda (sin uso de instrumental como el estereoscopio de espejos) logró cumplir este objetivo, la importancia de la visual a través del relieve (visión estereoscópica) cobró un papel fundamental. En las zonas naturales de la cuenca se consideró como cauce mínimo a

cualquier incisión del relieve que de origen a una arroyada concentrada y que implique profundidades y amplitudes mayores a 30 cm continuadas a lo largo de más de 20 m hasta la unión con cauces de dimensiones similares o superiores...

según la definición dada por Senciales (1999:39).

Relación de bifurcación: Gil (2009) analizó que los valores bajos (valores cercanos a 2) suelen corresponder a cuencas de menor pendiente. Según Senciales (1999) las altas relaciones de bifurcación indican áreas de fuertes pendientes con rápida concentración de la escorrentía, pero con picos de crecida poco importantes y los bajos valores suelen presentar los más altos riesgos de inundación por concentración brusca de la escorrentía. En las cuencas naturales, los valores cercanos a 2 revelan áreas de escaso relieve (siendo casi imposible índices inferiores a 2) valores entre 3 y 5 corresponden a áreas de montaña sin demasiado control estructural y valores superiores a 5 indican fuerte dependencia de la estructura. Los valores medios de la *relación de bifurcación* obtenidos para las tres cuencas se transcriben en el Cuadro 2.

En las tres cuencas analizadas los valores de Relación de Bifurcación son bajos. La cuenca I que corresponde al colector que corre paralelo a la vía férrea tiene un valor cercano a 2 al igual que la cuenca III. La cuenca II es la que alcanza a un valor medio de 3 y es la que corresponde al casco de la localidad de Ingeniero White. Estos datos brindan un análisis coincidente con lo elaborado para cuencas naturales: configuran áreas de escasa pendiente, proclives a presentar eventos de inundación.

Relación de longitud: según Senciales (1999) altas RI ($RI > 3$) revelan una concentración paulatina de caudales a lo largo del colector principal, mientras que bajas relaciones ($RI < 3$) muestran

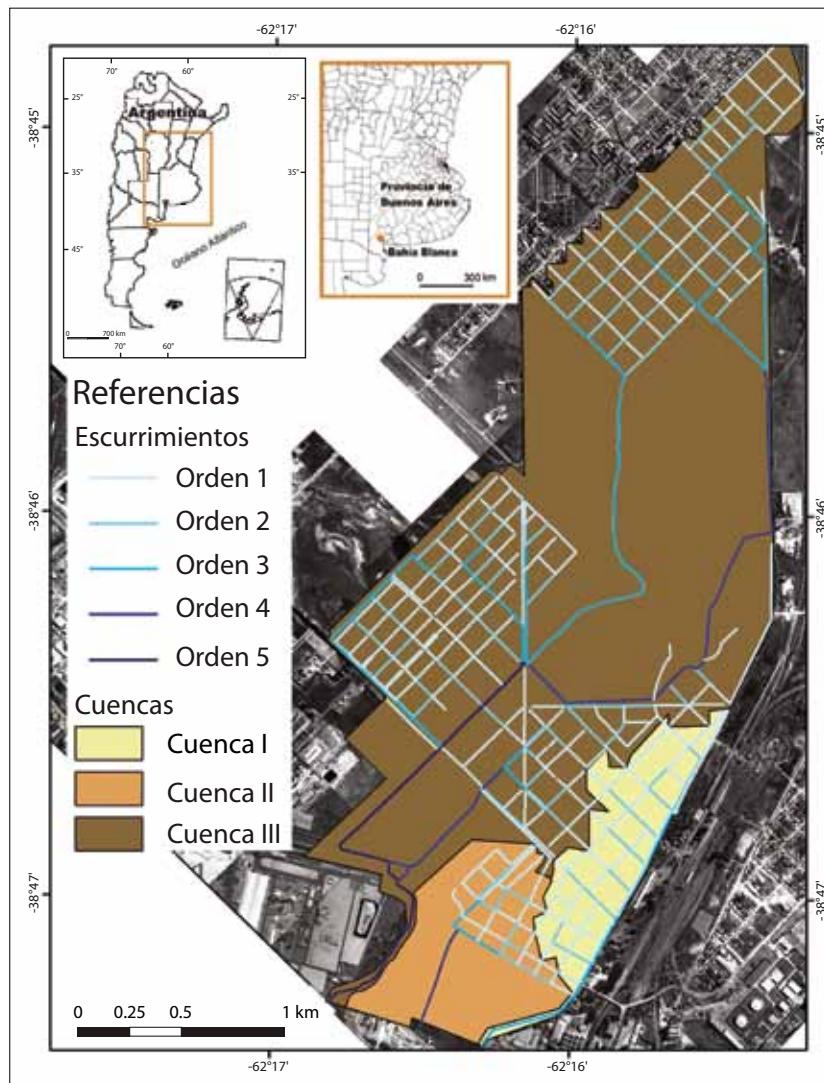


Figura 2. Representación cartográfica de los escurrimientos y de las tres cuencas en Ingeniero White (Aldalur, 2010).

Cuadro 2. Relación de bifurcación para las cuencas en estudio

CUENCA	Número de cursos por orden					
	Relación de Bifurcación					Total
	Orden					
I	1	2	3	4	5	Media
	34	12	7			53
II	2.83	1.71				2.27
	23	9	2	1		35
III	2.56	4.5	2			3.02
	176	64	26	10	7	276
	2.75	2.46	2.6	1.42		2.31

mayor energía concentrada bruscamente (Sala y Gay, 1981). Si se retoma al análisis de los valores medios de las RI se observa que las tres cuencas estudiadas poseen características torrenciales. El Cuadro 3 muestra los valores que alcanza cada razón calculada.

En las tres cuencas, los valores revelan relaciones de longitud bajos, que indican una mayor concentración de energía en eventos de grandes avenidas.

Relación de elongación: cuando más alejado de 1 sea el valor de Re mayor será la elongación. Los índices bajos suelen darse en áreas de baja pendiente (Senciales, 1999). En el área en estudio los valores obtenidos son los siguientes: 0.37 para la cuenca I, 0.82 para la cuenca II y 0.37 para la cuenca III. Las cuencas con mayor elongación presentan un retraso en la concentración de la escorrentía a causa de la gran longitud del cauce principal y con ello mayor brusquedad de la crecida, una vez concentradas las aguas (Sala y Gay, 1981). Las cuencas más circulares son las que se acercan al valor uno, en este caso es la cuenca que ocupa toda la parte del casco de la localidad de Ingeniero White (cuenca II). En coincidencia con el resultado, esta cuenca configura una forma muy semejante a un círculo. Los otros dos valores, alejados del valor uno, muestran cuencas elongadas, con mayor retraso en las avenidas de la escorrentía.

Área de la cuenca: el área total de la cuenca de estudio es de 5.93 km². Se observa en el Cuadro 4 el área de cada una de las tres cuencas ya delimitadas en la Figura 2. El orden de los cursos fluviales

Cuadro 4. Valor del área ocupada por las cuencas en estudio

Subcuencas	Área (km ²)	Orden
I	0.49	3
II	0.62	4
III	4.82	5
Total	5.93	

permitió darle un número de orden también a cada una de ellas.

La cuenca III fue a su vez dividida en 26 subcuencas de menor área para jerarquizar y caracterizar las superficies según la red de drenaje con vistas a futuro de realizar el diseño de cada una de las subcuencas (Figura 3). Esta tarea se elaboró a partir de la información suministrada por la Dirección de Vialidad Municipal y del posterior control en gabinete y en campo. En esta nueva división, cada subcuenca quedó jerarquizada sobre la base de la red de drenaje ya delimitada. En la Figura 3 se observa la existencia de subcuencas de orden 4 y 5. Esta área es la que recibe las aguas de la parte más alta de la cuenca y drena el mayor caudal.

El crecimiento del área actúa como un factor de compensación de modo que es más común detectar crecientes instantáneas y de respuesta inmediata en cuencas pequeñas que en cuencas grandes. De todas maneras el aporte de caudal al curso principal generalmente es mayor al aumentar la superficie drenada ya que puede colectar mayor cantidad de agua precipitada (Gil, 2009).

Cuadro 3. Longitud media de los cursos por orden y relación de longitud

CUENCA	Longitud media de los cursos por orden (km)					
	Relación de longitud					
	Orden					
	1	2	3	4	5	Media
I	0.15	0.17	0.22			
		1.13	1.29			1.21
II	0.13	0.13	0.22	0.51		
		1	1.69	2.32		1.67
III	0.14	0.16	0.25	0.49	0.37	
		1.14	1.56	1.96	0.76	1.36

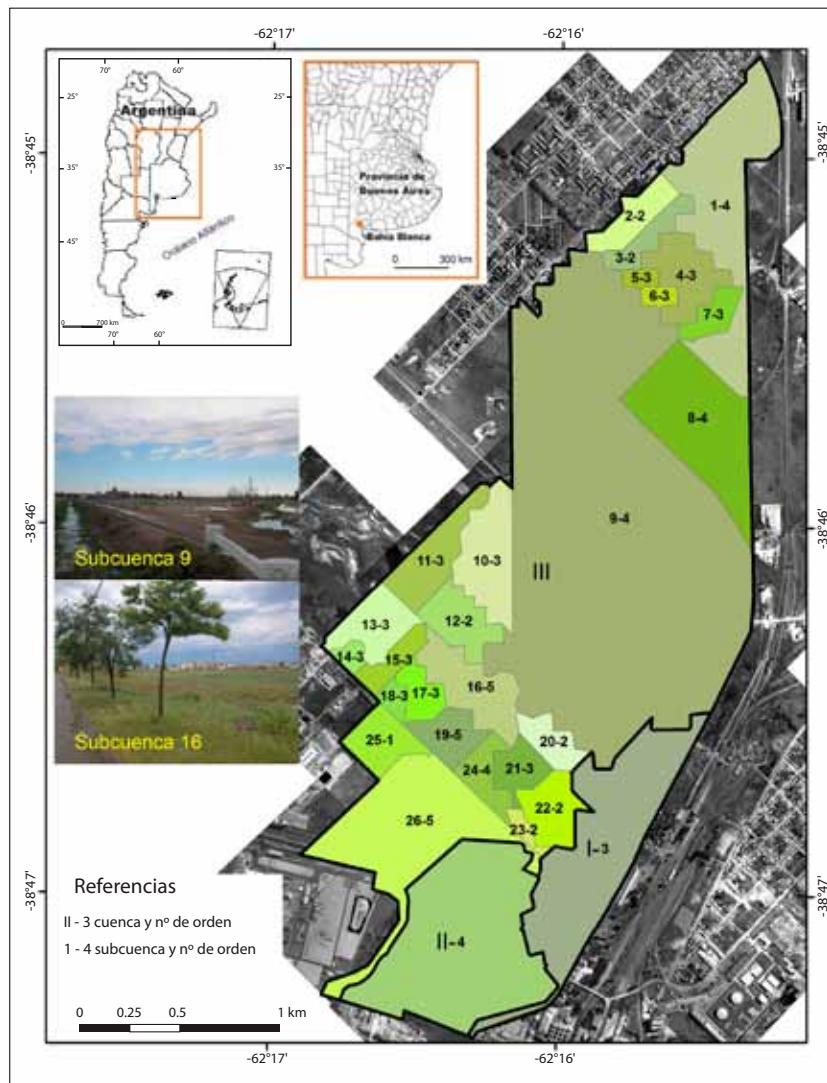


Figura 3. Representación cartográfica de las diferentes cuencas y subcuencas con número de orden (modificado de Aldalur, 2010).

Pendiente media: es imprescindible su cálculo ya que incide directamente en la velocidad de un caudal a lo largo del cauce, condiciona su energía cinética y de esta manera su potencia erosiva (Sencillas, 1999). La pendiente media calculada para toda el área en estudio es 0.166. El resultado para las tres cuencas es 0.03% para la cuenca I, 0.11 para la cuenca II y 0.2, respectivamente, para la cuenca III. El área configura una zona llana, muy baja, con escasos desniveles.

Cálculo de pendientes y áreas incorporando la división en subcuencas: se calculó la pendiente de cada una de las pequeñas subcuencas en que se dividió la cuenca III. En el Cuadro 5 se presentan

los valores de pendiente y número de orden para las subcuencas del área en estudio, incorporando las ya calculadas de las cuencas I y II.

CONCLUSIONES

Las tres cuencas configuran áreas de escasa pendiente, proclives a presentar eventos de inundación, con mayor peligrosidad ante eventos de precipitaciones extremas. Este análisis se confirma a partir de los valores de pendientes calculadas para cada una de ellas y de los bajos valores de relación de bifurcación.

Cuadro 5. Datos de orden de jerarquización, pendiente y superficie de todas las subcuenca

Cuenca	Sub-cuenca	Área (km ²)	Pendiente (%)	Orden
I	I	0.50	0.03	3
II	II	0.62	0.11	4
III	1	0.40	0.35	4
III	2	0.07	0.12	2
III	3	0.06	0.17	2
III	4	0.11	0.25	3
III	5	0.02	0.21	3
III	6	0.02	0.24	3
III	7	0.05	0.16	3
III	8	0.32	0.32	4
III	9	2.18	0.26	4
III	10	0.15	0.19	3
III	11	0.12	0.15	3
III	12	0.09	0.19	2
III	13	0.10	0.05	3
III	14	0.02	0.20	3
III	15	0.05	0.10	3
III	16	0.14	0.12	5
III	17	0.05	0.09	3
III	18	0.02	0.30	3
III	19	0.07	0.38	5
III	20	0.06	0.07	2
III	21	0.06	0.08	3
III	22	0.09	0.03	2
III	23	0.02	0.16	2
III	24	0.06	0.07	4
III	25	0.08	0.32	1
III	26	0.42	0.07	5
Total		5.93		

Los valores de relación de longitud obtenidos indican mayor concentración de energía en eventos de grandes avenidas para las tres cuencas analizadas. La cuenca II ocupa toda la parte del casco de la localidad de Ingeniero White. Dada su forma circular es la que presenta mayor velocidad en las avenidas de la escorrentía. Las otras dos cuencas presentan formas más elongadas, con mayor retardo en las avenidas de la escorrentía. Este análisis surge a partir de los valores de relación de elongación obtenidos.

El mayor caudal del área en estudio fluye al estuario por el canal emplazado en la cuenca III (Canal Profertil). Esta cuenca posee el mayor orden y la mayor superficie. Las otras dos cuencas de menor superficie están sujetas a crecientes instantáneas y de respuesta inmediata.

Los valores de pendiente y de área obtenidos a partir del análisis morfométrico se aplicaron en el modelo hidrológico HidroEsta utilizado para determinar el caudal de cada cuenca y subcuenca y en el modelo hidráulico Hcanales que permitió calcular la sección de los conductos y canales destinados a evacuar las aguas hacia el estuario. El caudal calculado a partir de la utilización de una tormenta de diseño para toda el área drenada fue de 22.41 m³/s (Aldalur, 2010). Esta información permitió realizar el control de los drenajes urbanos y diagramar las posibles soluciones a los problemas de inundaciones en la localidad Ingeniero White.

REFERENCIAS

- Aldalur, B. (2010), *Inundaciones y anegamientos en Ingeniero White, aplicación de Tecnologías de la Información Geográfica para la planificación y gestión de la hidrología urbana*, tesis Doctoral en Geografía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Aldalur, B., S. Fernández y A. Campo de Ferreras (2005), “Estudio de la Hidrología Urbana de Ing. White, Argentina”, XXVI Congreso Nacional y XI Internacional de Geografía, *Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*, Santiago de Chile, pp. 11-18.
- Buzai, G. y C. Baxendale (2006), *Ánálisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*, Lugar Editorial, Buenos Aires, Argentina.

- Campo de Ferreras, A., A. Capelli de Steffens y P. Diez (2004), *El clima del suroeste bonaerense*, Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Chow, V., D. Maidment y L. Mays (1999), *Hidrología aplicada*, McGraw-Hill, Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- Chuvieco, E., J. Bosque, J. Pons, C. Conesa, J. Santos, J. Gutiérrez Puebla, M. Salado, M. Martín, J. de la Riva, J. Ojeda y M. Prados (2005), “¿Son las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) parte del núcleo de la Geografía?”, *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles - AGE*, núm. 40, España, pp. 35-55.
- Costa, J. (1987), “Hydraulics and basin morphometry of the largest flash floods in the conterminous United States”, *Journal of hydrology*, vol. 93, Issues 3-4, pp. 313-338.
- Ehrensparger, A., S. Wyman von Dach y F. Kakridi Enz (2007), “Tecnologías de la Información Geográfica para el manejo de los recursos naturales”, *Focus*, núm. 3, Schlaefli & Maurer AG., Suiza [http://www.inforesources.ch/pdf/focus07_3_s.pdf: 7 de enero de 2010: 23 de diciembre de 2010].
- Gentili, J. y V. Gil (2009), “Aplicación de Tecnologías de Información Geográficas (TIG) al análisis hidromorfológico, Caso de estudio: cuencas hidrográficas del Sistema de Ventania, Buenos Aires, Argentina”, *12º Encuentro de Geógrafos de América Latina “Caminando en una América Latina en transformación”*, Montevideo, Uruguay.
- Gil, V. (2009), *Hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al análisis de crecida*, tesis Doctoral en Geografía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- Gil, V., J. Gentili y A. Campo (2009), “Influencia de la litología en la variación de los parámetros morfométricos, Sistema de Ventania, Argentina”, *Papeles de Geografía*, Murcia, núm. 49-50, pp. 55-68.
- Horton, R. (1945), “Erosional development of stream and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology”, *Bulletin of the Geological Society of America*, no. 56, pp. 275-370.
- Jardí, M. (1985), “Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen”, *Revista de Geografía*, vol. XIX, Barcelona, pp. 41-68.
- Maderey Rascón, L. E. (1973), “Obtención de los elementos físicos que influyen en el régimen hidrológico: Cuenca del río Pabellón, afluente del río Aguascalientes”, *Recursos hidráulicos*, vol. 2, núm. 2, México, pp. 166-176.
- Martínez Fernández, J. (1986), “Características morfométricas y de la red de drenaje de algunas cuencas de la Sierra de los Álamos (Moratalla, Murcia)”, *Papeles de Geografía Física*, núm. 11, 45-51 pp.
- Llamas, J. (1993), *Hidrología General. Principios y aplicaciones*, Universidad del País Vasco, España.
- López Ramos, A. (2000), “Gestión de riesgos urbanos. Inundaciones urbanas en El Salvador”, San Salvador, *Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET)*, Servicio Hidrológico Nacional.
- Perdomo, R., D. Del Cogliano, N. Di Croche, E. Napal, B. Aldalur, A. De Aduriz, P. Napal, N. Plana, I. Pintos, M. Martínez, S. Rosso y J. San Cristóbal (1998), “Red Geodésica con técnicas GPS”, *V Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses*, vol. II. Mar del Plata, pp. 191-195.
- Rodrigo Hidalgo, D., L. Álvarez C., A. Salazar B., R. Lazcano A., F. Roa P. y D. Fuentes P. (2004), “Las Tecnologías de Información Geográfica y su aplicación al análisis urbano. El caso del estudio de los espacios residenciales cerrados en las áreas metropolitanas de Santiago y Valparaíso”, *Scripta Nova*, Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, Universidad de Barcelona, vol. VIII, núm. 170 (31) [<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-170-31.htm>: 20 de agosto de 2010].
- Sala, M. y R. Gay (1981), “Algunos datos morfométricos de la cuenca de Isábena”, *Notes de Geografía Física*, no. 4, Department de Geografia, Universitat de Barcelona, Barcelona, pp. 41-65.
- Schumm, S. (1956), “The evolution of drainage system and slopes in badlands at Pearly Amboy, New Jersey”, *Bulletin of Geological Society of America*, no. 67, pp. 597-646.
- Senciales González, J. (1999), *Redes fluviales. Metodología de análisis*, Universidad de Málaga, España.
- Strahler, A. (1964), “Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks”, in Chow, V. (1999), *Section 4-11 of Handbooks of Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book Co. New York, pp. 39-76.
- Strahler, A. (1979), *Geografía física*, Omega, Barcelona.
- Villón Béjar, M. (1994), *Hcanales para Windows, Manual del Usuario*, Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Villón Béjar, M. (2004), *HidroEsta: Manual del Usuario*, Editorial Centro de Información Tecnológica (CIT), Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Villón Béjar, M. (2011a), “HidroEsta, software para cálculos hidrológicos”, *Tecnología en marcha*, vol. 18, núm. 2 especial, pp. 67-75 [<http://www.scribd.com/doc/42553293/hidroesta>: 15 de febrero de 2011].
- Villón Béjar, M. (2011b), HCanales, la forma más fácil de diseñar canales, descarga gratis [<http://civilunheval.wordpress.com/2010/11/15/hcanales-v-3-0-maximo-villon-bejar>: 15 de febrero de 2011].