

Estimación de la Escorrentía Superficial de la Cuenca del Arroyo Aguirre, Provincia de Buenos Aires, mediante el método de Curva Número

*Natalia Protti*¹

¹ Cátedra de Riego y Drenaje, Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires

E-mail: protti@agro.uba.ar

RESUMEN

El presente trabajo consistió en efectuar una estimación de la escorrentía directa en la cuenca del Arroyo Aguirre, Provincia de Buenos Aires, a partir del método de Curva Número propuesto por el Soil Conservation Service. La cuenca pertenece al Sistema Matanza-Riachuelo y posee usos del suelo heterogéneos: rural, urbano, presencia de barrios cerrados de baja densidad poblacional, usos para otras actividades específicas y presencia de bosques y vegetación leñosa. El área presenta ciertos puntos de problemática ambiental tales como basurales a cielo abierto y áreas inundables asociados a la falta de infraestructura. El análisis permitió dar un panorama de la respuesta de la cuenca ante un evento de precipitación y su evolución en el tiempo. Se observó un avance de áreas urbanizadas y abiertas entre 2006 y 2016, en detrimento de las zonas de bosques y arbustos, aunque esta transformación no se vio reflejada en una variación en el cálculo de la escorrentía directa. Este resultado fue asociado a que, a pesar de haber sufrido grandes modificaciones en el área ocupada por vegetación más densa, gran parte de ésta fue reemplazada por áreas abiertas con gran capacidad infiltrante. Por otro lado, a pesar del crecimiento del área urbanizada en el período estudiado, esta sigue representando una superficie menor en relación a otros usos. Se pudo observar que el método resulta ineficiente si no es acompañado por un análisis de las características y cambios en los usos del suelo. Por otro lado, la información resulta insuficiente para elaborar predicciones fiables y una estimación de comportamiento y evolución a largo plazo y deberá complementarse en futuros trabajos con datos sobre crecimiento demográfico y ordenamiento territorial.

INTRODUCCIÓN

La subcuenca del Arroyo Aguirre posee un área de influencia de unos 103 km², de la cual un 84,8% corresponde al partido de Ezeiza, 9,7% al de Esteban Echeverría, 3,2% a Presidente Perón y 2,3% a San Vicente. A pesar de no ser de las subcuencas más estudiadas en la actualidad, sus características socio-económicas la convierten en un objeto interesante de análisis a causa de varios puntos de posible impacto ambiental y actividades particulares, como ser el Aeropuerto Internacional de Ezeiza, el Centro Atómico Ezeiza, o la presencia de canteras de tosca inactivas y barrios privados en actual crecimiento. Los cambios en cuanto a uso de sus recursos en los últimos años y modificaciones en curso invitan a prestar especial interés a ciertas actividades que podrían modificar su dinámica.

Parte del área es históricamente zona inundable, sin embargo, el incremento en la frecuencia de eventos extremos ha permitido observar en los últimos años crecidas más habituales, especialmente en la zona de cuenca baja, y en concordancia a lo que ocurre en el resto de la cuenca del Matanza-Riachuelo (La Nación, 13/08/2015).

A pesar de que el arroyo cuenta con un punto de aforo perteneciente a ACUMAR en su desembocadura, los datos no resultan suficientes para una adecuada estimación e interpretación de su comportamiento. La medición de la evolución de caudales resulta sumamente importante, entre otras cosas, para prevención de inundaciones y evaluación de áreas de riesgo ambiental.

“El análisis morfométrico de una cuenca de drenaje es de gran importancia para comprender e interpretar su comportamiento morfodinámico e hidrológico, así como para inferir indirecta y cualitativamente la estructura, características y formas de los hidrogramas resultantes de eventos de crecidas” (Alonso et al., 1981, cita en Méndez et al. 2007). Sumado a esto es importante comprender las características y comportamiento ambiental de la cuenca con todos sus componentes para poder analizar su evolución y estimar una predicción de respuesta ante eventos similares de precipitación a futuro y posibles cambios de acuerdo a las tendencias de crecimiento en las distintas actividades que surgen en el territorio.

La estimación de la precipitación efectiva y el cálculo de la escorrentía que puede aportar un evento ante determinada situación y distribución de usos del suelo es una herramienta que ha demostrado ser muy útil para el análisis de la posible respuesta de la cuenca. Las principales problemáticas que pueden abarcarse mediante el estudio desde esta perspectiva son, por ejemplo, los cambios de uso del suelo y su influencia en la capacidad de infiltración o variación de la escorrentía que llega a los cauces superficiales; las crecidas y su relación con la evolución de las distintas actividades y urbanización en el área de la cuenca; la disponibilidad en cuanto a calidad, cantidad y oportunidad del agua en función de la presión hacia el recurso y mediante el estudio de los cambios en la oferta y demanda del mismo.

“El método desarrollado por el USDA denominado Número de Curva (CN) (Soil Conservation Service, 1975) es usado mundialmente para la estimación de escurrimientos de pequeñas cuencas agropecuarias.” (Chagas et al., 2008). Este método ha demostrado su eficiencia y ha sido validado en el cálculo de la escorrentía de numerosas áreas de estudio como primera aproximación al comportamiento de una cuenca. Actualmente es sometido a revisiones, pero aun así se considera una herramienta útil para aplicación en cuencas de llanura, especialmente “cuando hay una deficiencia de registros extensos y confiables” (Gaspari et al., 2007), dado que puede utilizarse como aproximación a la comprensión de la respuesta ante una precipitación a partir del conocimiento de datos simples como el tipo de suelo, humedad antecedente y grados de ocupación del mismo.

El objetivo de este trabajo fue elaborar una primera estimación de la escorrentía directa de la cuenca, considerando los distintos usos del suelo de la misma, y comparándola con la escorrentía del área diez años atrás.

METODOLOGÍA

En primer lugar, se determinó el área de la cuenca considerando los límites sugeridos por ACUMAR en su Resolución 1113/13. Se superpuso el mapa en el visor Google Earth Pro, se delimitó la cuenca siguiendo la imagen, y se calculó mediante el mismo software el área y perímetro de la cuenca (Figura 1).

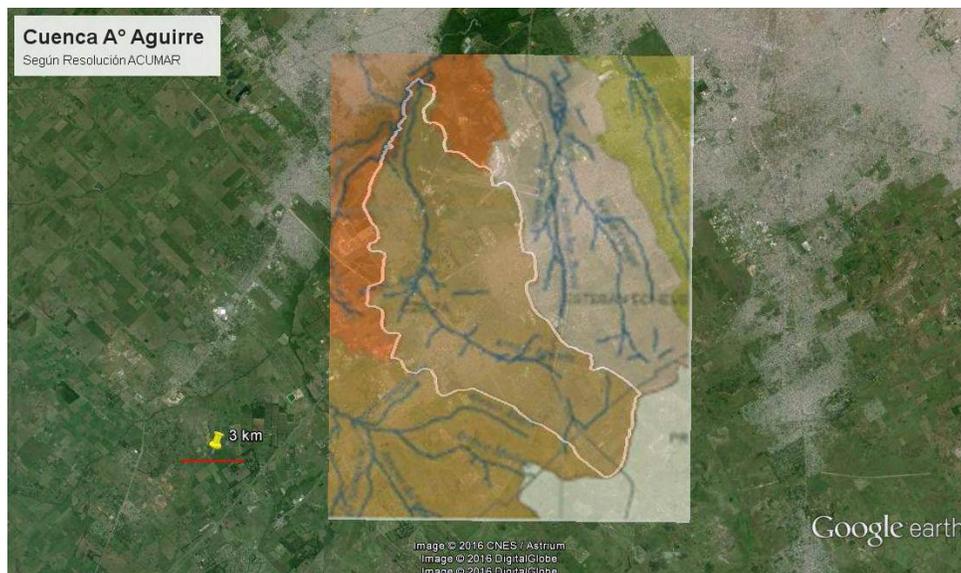


Figura 1: Delimitación de cuenca en Google Earth a partir del mapa propuesto por ACUMAR en su Resolución 1113/13

En una segunda instancia, se relevaron de distintas fuentes (datos de imágenes SIG del IDE Conurbano de la UNGS y Google Earth, informes de ACUMAR, datos relevados a campo) las principales actividades y usos del suelo de la cuenca. La cuenca alta está compuesta principalmente por terrenos de uso rural y loteos correspondientes a emprendimientos inmobiliarios del tipo barrio cerrado. También se encuentra radicado en esta sección el Parque Industrial Privado Canning, con tres etapas previstas de construcción y radicación de empresas que, hasta el momento, abarcan rubros muy variados (desde transporte y logística hasta industria de la cerámica). Los terrenos de esta sección son en general llanos, modificados principalmente en pendiente (especialmente terrenos elevados mediante relleno en las zonas de barrios cerrados) y en cobertura vegetal. Se observan pasturas destinadas en algunas zonas a la ganadería y pastos implantados para uso residencial en el caso de los emprendimientos inmobiliarios. La densidad poblacional en esta sección de la cuenca es baja a media. Las nacientes de uno de los primeros tributarios del Aguirre y un arroyo menor afluente del segundo tributario, se originan dentro del predio de uno de los barrios cerrados, uno de ellos rectificado en toda su traza.

La cuenca media concentra la mayor densidad poblacional con el mayor grado de urbanización. Se encuentra conformada principalmente por parte del área de Ezeiza, Tristán Suárez, Barrio La Unión y Carlos Spegazzini. En esta sección sólo se registró un barrio cerrado. Además de la urbanización de tipo formal se encuentran en la cuenca media 9 barrios con problemas de infraestructura y asentamientos informales de acuerdo al relevamiento de la UNGS. El uso es principalmente residencial con presencia de comercios y algunas industrias de diverso rubro y escala, ubicadas en esta misma franja en línea con las rutas y autopistas principales.

La cuenca baja presenta, comparada con las otras secciones, la mayor heterogeneidad en cuanto a cobertura y uso del suelo. Se puede observar la presencia de terrenos de uso rural, otros de uso estatal o comercial, entre ellos, unidades del Complejo Penitenciario Federal, el Aeropuerto Internacional Ministro Pistarini y el Centro Atómico Ezeiza. Lindante al predio destinado a este último, hacia el Oeste, se encuentran los barrios La Celia y Barrio Parque Vicente Melazzi. Relacionadas al aeropuerto y en el predio se radican algunas empresas de diverso rubro. También hay en la cuenca baja presencia de canteras de tosca, activas y remanentes fuera de

actividad, dejando algunas zonas bajas inundadas por la napa. En el área hacia la desembocadura del Matanza y otros parches remanentes (entre ellas el Centro Atómico) hay presencia de bosques representativos del área y con diversidad semejante al área de los Bosques de Ezeiza. También se observa en esta sección de la cuenca la presencia de tosqueras. Del relevamiento efectuado por ACUMAR (2011) se observa que una de ellas en forma total y 3 con área parcial, todas de explotación privada, se encuentran dentro del territorio de la cuenca: una activa a la fecha del informe y con estado dual (alterna entre seca e inundada), dos inactivas y en estado seco permanente y una cuarta, también inactiva, en estado inundado permanente. Además de estas 4 tosqueras se observa una más, interna y de uso del Centro Atómico Ezeiza.

A modo de resumen de las actividades que abarcan mayor superficie, la Tabla 1 desglosa las principales actividades de la cuenca en cuanto a superficie afectada. Tal y como se observa, hay una predominancia de áreas rurales o con cobertura vegetal (44,24%) seguido por una fuerte componente urbana (30,02%) y emprendimientos del tipo barrio cerrado (10,84%). El área restante se reparte en usos específicos diversos.

Tabla 1: Actividades presentes en la cuenca del Arroyo Aguirre por área aproximada ocupada. Elaboración propia en base a delimitación realizada en Google Earth y a partir de datos de distintos organismos.

Actividad	Área aprox. dentro de la cuenca (km²)	Porcentaje de la cuenca ocupada por la actividad (%)
Aeropuerto Internacional Mtro. Pistarini (Ezeiza)	3,9	3,79
Centro Atómico Ezeiza Sección I y II (Ezeiza)	8,32	8,08
Complejo Penitenciario Federal I y IV (Ezeiza)	0,82	0,80
Canteras de tosca (5)	1,57	1,52
Área urbanizada	30,92	30,02
Parque Privado Industrial Canning	0,73	0,71
Barrios cerrados y Emprendimientos inmobiliarios cuenca alta	11,17	10,84
Zona Rural / Áreas vegetadas	45,57	44,24
Total Cuenca	103	100

En contraste a esta metodología, para determinar la cobertura se realizó una estimación de las áreas afectadas a distintos usos del suelo, utilizando el software CobCal (INTA, Versión 2.1).

Se incorporó la imagen de la cuenca en CobCal con las siguientes consideraciones:

- Área de la imagen rectangular en el visor del software: 61,2 cm²
- Escala: 1 cm : 2,75 km
- Tamaño extrapolado al terreno (cuenca y alrededores): Área rectangular: 462,825 km²

Se seleccionaron 4 colores para representar las principales coberturas:

- 1) Verde oscuro para representar las áreas de bosque y vegetación ribereña
- 2) Verde claro para representar la vegetación baja/arbustiva
- 3) Verde claro/grisáceo para representar vegetación escasa o áreas abiertas
- 4) Gris para representar el área urbanizada y pavimentada

Dado que el programa no discrimina tonalidades de una misma gama, se seleccionaron colores lo más diferenciados posibles con una tolerancia baja. Luego se constató que estas clasificaciones sean excluyentes corroborando que la suma de porcentajes de los mismos fuera igual al 100% del área de la cuenca y buscando que la superposición de las cuatro imágenes resultantes cubriera la totalidad del área. Se obtuvieron del programa los porcentajes representados por cada cobertura y la cuenca en general y luego se realizó la corrección, eliminando el área de la imagen que no correspondía a la cuenca en estudio. El proceso se efectuó con imágenes correspondientes a 2006 y 2016.

A continuación se clasificó cada área de acuerdo a su Número de curva de acuerdo al método del SCS (1975), considerando la humedad antecedente a la que corresponde la tabla de AMC(II) $I_0=0,2.S$. Se consideró como Grupo hidrológico: B, y se calculó la CN ponderada para la imagen de la cuenca correspondiente a 2016.

Con los datos de CN ponderada se realizó el cálculo de la precipitación efectiva (Q) sobre una lluvia modelo de 100 mm, mediante las ecuaciones propuestas por la metodología:

$$S = (25400/CN) - 254 \quad (1)$$

$$Q = (P - 0,2 * S)^2 / (P + 0,8 * S) \quad (2)$$

$$\text{Infiltración} = PP - Q \quad (3)$$

Donde:

S: Retención máxima

P: Precipitación en mm

Q: Volumen de escorrentía directa en mm

CN: número de curva

En una segunda instancia se repitió el ejercicio a partir de una imagen de la cuenca correspondiente al año 2006 (primera imagen histórica de la base de datos de Google Earth con cobertura completa de la cuenca) y se comparó con la situación de 2016, calculando la variación porcentual de cada tipo de cobertura entre un año y otro.

RESULTADOS

De acuerdo a los resultados obtenidos de las imágenes de 2016, en la Tabla 2 se presentan las áreas correspondientes a cada cobertura:

Tabla 2: Superficie abarcada por distintas coberturas obtenidas con CobCal 2.1 (INTA) en porcentaje de imagen, porcentaje de la cuenca y km^2 (imagen de 2016)

	% del total de la imagen	% del área real	km^2 sobre área real
Color 1 (bosque)	2,00	9,22	9,5
Color 2 (arbustos)	4,98	23,06	23,75
Color 3 (área abierta)	11,34	52,43	54,00
Color 4 (urbano)	3,32	15,29	15,75
Cuenca	21,64%	100%	103km^2

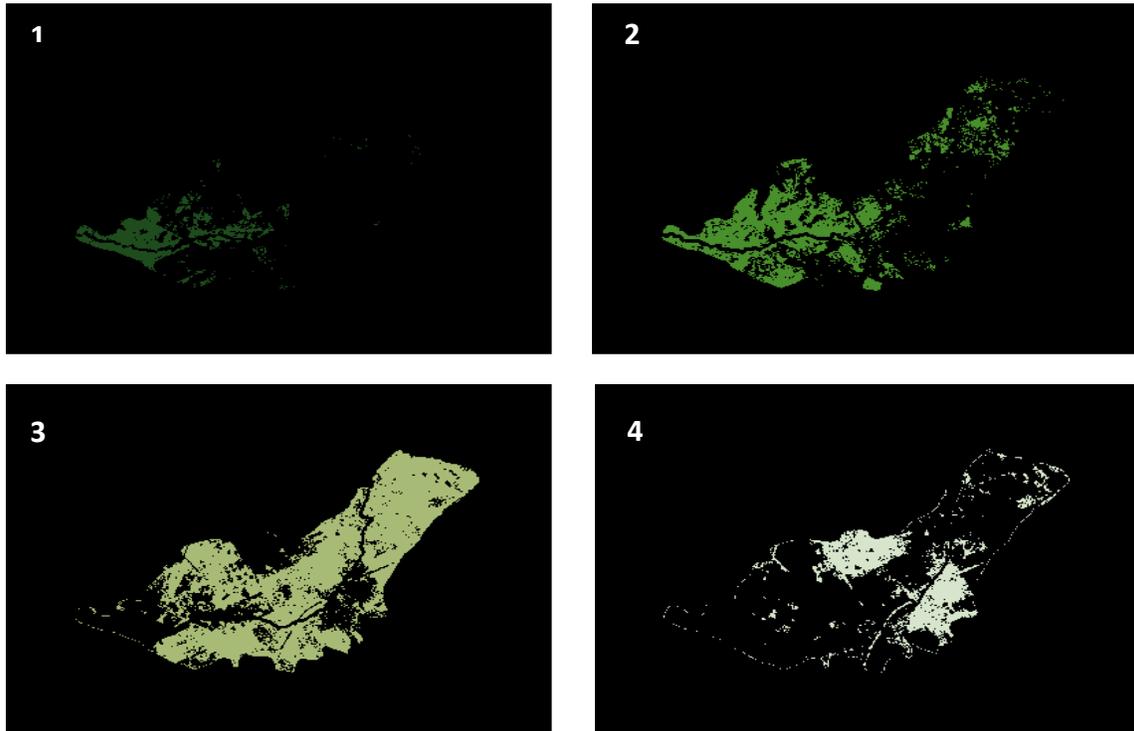


Figura 2: usos de la tierra de acuerdo a la clasificación propuesta y observada en CobCal 2.1 (INTA). 1: bosque, 2: arbustos, 3: áreas abiertas, 4: urbanización. Elaboración propia en base a imágenes GE de 2016.

Del año analizado, se presenta en la Tabla 3 la estimación de la escorrentía esperada ante un evento de precipitación, mediante el método de Curva Número (CN) propuesto por el Soil Conservation Service (SCS, 1975):

Tabla 3: Curva número y área correspondientes a cada uso de la tierra, CN ponderada por área y CN total de la cuenca a 2016.

Uso de la tierra	CN	% área	CN ponderada
1)Bosque/Aceptable	60	9,50	5,7
2)Bosque/Pobre	85	15,75	13,4
3)Área abierta	61	54,00	32,9
4)Residencial 65%imp	66	23,75	15,7
CN Total			67,7

$$S = (25400/67,7) - 254 = 121,17$$

$$Pe = (100 - 0,2 \cdot 121,17)^2 / (100 + 0,8 \cdot 121,17) = 29,15 \text{ mm}$$

$$\text{Infiltración} = PP - Pe = 70,85 \text{ mm}$$

Es decir, que ante una precipitación de 100 mm, se esperaría que alrededor de un 30% genere en la cuenca escorrentía directa.

Para evaluar el impacto de los cambios de uso de suelo ocurridos en el lapso de 10 años observado, se repitió el ejercicio con una imagen del año 2006. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 3 y Tabla 4.

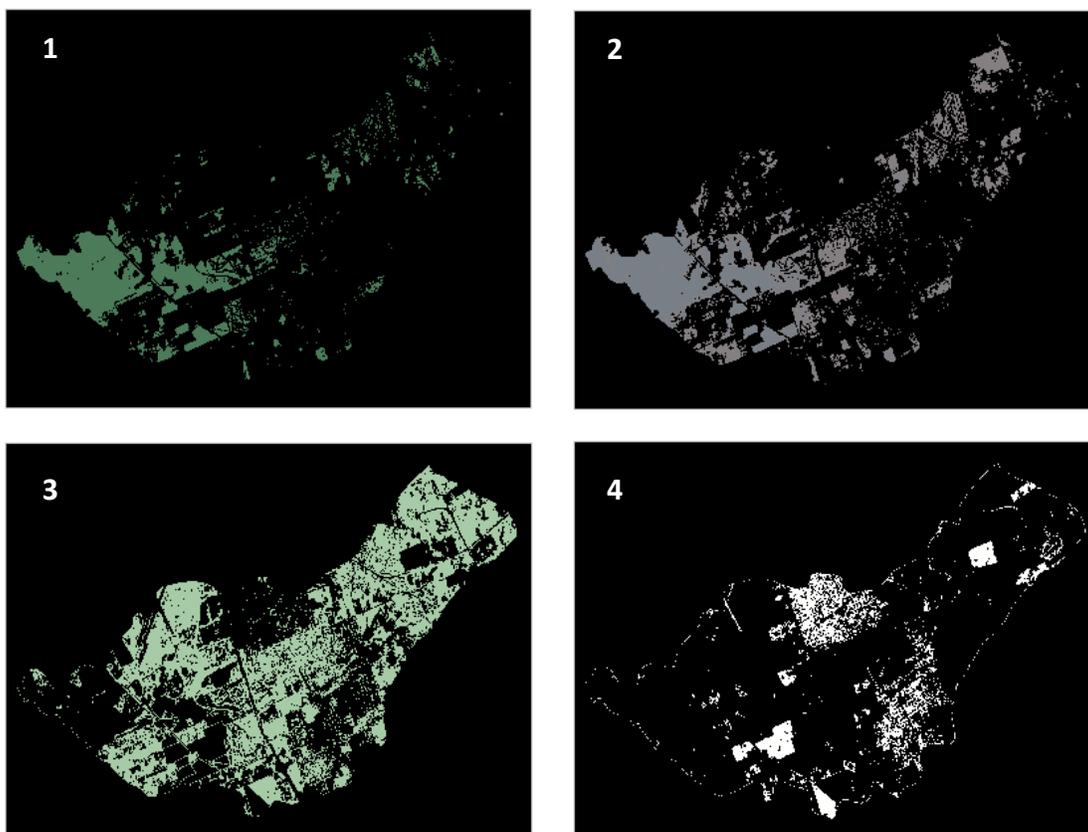


Figura 3: usos de la tierra de acuerdo a la clasificación propuesta y observada en CobCal 2.1 (INTA). 1: bosque, 2: arbustos, 3: áreas abiertas, 4: urbanización. Elaboración propia en base a imágenes GE de 2006.

Tabla 4: Superficie abarcada por distintas coberturas, obtenida con CobCal 2.1 (INTA) en porcentaje de imagen, porcentaje de la cuenca y km² (imagen de 2006)

	% del total de la imagen	% del área de la cuenca	km ² sobre área real
Color 1 (bosque)	6,08	16,45	16,95
Color 2 (arbustos)	9,73	26,33	27,12
Color 3 (área abierta)	16,74	45,30	46,66
Color 4 (urbano)	4,4	11,91	12,27
Cuenca	36,95%	100%	103km²

Los cálculos de precipitación efectiva no se repitieron con los datos de 2006 dado que la curva número ponderada para la cuenca resultó semejante a la de 2016.

Por último, se realizó la comparación entre la superficie abarcada por cada uso entre un año y otro (Tabla 5):

Tabla 5: Variación porcentual de las áreas ocupadas por distinto uso o cobertura del suelo entre 2006 y 2016.

	km ² (2006)	km ² (2016)	Variación porc. (%)
Color 1 (bosque)	16,95	9,50	-43,95
Color 2 (arbustos)	27,12	23,75	-12,43
Color 3 (área abierta)	46,66	54,00	+15,73
Color 4 (urbano)	12,27	15,75	+28,36
Cuenca	103km2	103km2	

Se observó en primera instancia un avance de áreas urbanizadas y abiertas (conformadas por pastizales, cultivos y barrios residenciales con grandes espacios verdes) en detrimento de las zonas de bosques y arbustos.

La curva número ponderada para la cuenca para el año 2006 resultó semejante a la de 2016. Este resultado fue asociado a que, a pesar de haber sufrido grandes modificaciones en el área ocupada por vegetación más densa, gran parte de ésta fue reemplazada por áreas abiertas con gran capacidad infiltrante. Por otro lado, a pesar de que el área urbanizada creció casi un 30% en los 10 años analizados, sigue representando una superficie menor en relación a otros usos.

Cabe destacar que los datos deberían constatare de igual modo, con estudios catastrales y de crecimiento demográfico y perfeccionarse con herramientas adecuadas como Sistemas de Información Geográfica. También deberían corroborarse los datos de escorrentía con datos de tormentas de diseño y mediciones de caudal y un relevamiento de suelos con mayor grado de detalle, incluyendo medidas de compactación, datos de infiltración a campo y comparación con situaciones e imágenes de la cuenca previas a las utilizadas y esperadas de acuerdo a las actuales tendencias de crecimiento poblacional.

Resulta importante destacar que el crecimiento del área urbana en un 28% se condice con una tendencia de crecimiento poblacional en los años analizados (la variación intercensal de población de la ciudad de Ezeiza fue del 37,8% entre 2001 y 2010). Al área urbana se suman las áreas residenciales abiertas en actual crecimiento en la zona.

CONCLUSIONES

El método de CN permitió estimar en buena medida la precipitación efectiva esperable en la cuenca. A pesar de los grandes cambios en cuanto a usos del suelo detectados en la cuenca entre 2006 y 2016, el resultado del cálculo de escorrentía esperada resultó similar y acorde a la permeabilidad de los suelos. Se detectó un avance de áreas urbanizadas y abiertas en el período estudiado, en detrimento de las zonas de bosques y arbustos, aunque, tal como se dijo, esto no se vio reflejado en una variación en el cálculo de la escorrentía directa. Este resultado fue asociado a que, a pesar de haber sufrido grandes modificaciones en el área ocupada por vegetación más densa, gran parte de ésta fue reemplazada por áreas abiertas con gran capacidad infiltrante. Por otro lado, a pesar del crecimiento del área urbanizada en el período estudiado, esta sigue representando una superficie menor en relación a otros usos con menor grado de impermeabilización del terreno. Se pudo observar que el método del SCS resulta útil para el cálculo e interpretación de la situación actual, pero ineficiente en cuanto a evolución si no es acompañado por un análisis de las características y cambios en los usos del suelo. Por otro lado, la información resulta insuficiente para elaborar predicciones fiables y una estimación de comportamiento y evolución a largo plazo y deberá complementarse en futuros trabajos con datos sobre crecimiento demográfico y

ordenamiento territorial. Aun así, las variaciones observadas de las distintas coberturas podrían indicar una tendencia de transformación a considerar para un análisis a largo plazo que permita trabajar en la zonificación, mejoras en infraestructura y prevención de inundaciones en la cuenca a futuro.

Agradecimientos. A mis tutores Alejandro, Lida y Pamela, por el apoyo y guía cotidianos.

REFERENCIAS

- Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo. Coordinación de Ordenamiento Territorial, 2011. Memoria técnica del proceso de elaboración del “Mapa de usos legales del suelo según categorías de análisis”
- Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo, 2011. Memoria técnica del Proceso de Elaboración del “Diagnóstico sobre cavas y tosqueras” existentes y del “Informe de la normativa sobre usos vinculados a la actividad de extracción y movimientos de tierra –tosqueras- en los municipios de la Cuenca Matanza-Riachuelo”.
- Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo, 2013. Resolución 1113/13: Aprobación del Mapa y el Informe de Delimitación Topográfica de la Cuenca Hidrográfica del Río Matanza Riachuelo.
- Chagas, C. I., Santanatoglia, O. J., Castiglioni, M. G., Massobrio, M. J., Buján, A., & Iruetia, C., 2008. Número de curva de escurrimiento para una microcuenca de Pampa Ondulada bajo labranza convencional y siembra directa. *Ciencia del suelo*, 26(1), pp. 63-69
- Gaspari, F. J., Senisterra, G. E., & Marlats, R. M., 2007. Relación precipitación-escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. Cuenca modal del sistema serrano de La Ventana, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo*, 39(1), pp. 21-28.
- La Nación diario, 13 de agosto de 2015 “Mapa: las zonas más afectadas por el temporal”
- Méndez, W., Córdova, J., Cartaya, S., & Pacheco, H., 2007. Geomorfología y respuesta hidrológica de la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, estado Vargas, Venezuela. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la UCV*, 22(1), pp. 5-20.
- Soil Conservation Service (1975) Engineering Field Manual for Conservation Practices. United States Department of Agriculture.
- Software y recursos electrónicos:*
- CobCal V.2.1. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
- Google Earth Pro
- Universidad Nacional de General Sarmiento. Instituto del Conurbano. Capas <http://ideconurbano.ungs.edu.ar/layers/>