

# Simulación espacio-temporal del escurrimiento por la interacción entre los cambios del uso del suelo y evolución pluvial

## Space-time simulation of runoff by the interaction between land use changes and pluvial evolution

Alfonso Martín Rodríguez Vagaría, Fernanda Julia Gaspari, Eduardo Emilio Kruse

### Resumen



El conocimiento y evaluación de la influencia que generan los cambios climáticos y de uso del suelo, es incipiente, especialmente cuando se analiza su integración al fenómeno precipitación–escorrentía. El objetivo es representar la interacción entre los cambios del uso del suelo y evolución pluvial con el fin de pronosticar esta influencia sobre la escorrentía superficial para el período 2029-2050, en el borde sur del Río de La Plata, abarcando los Partidos de Berisso, Ensenada y La Plata. Se desarrolló una metodología de pronósticos de evolución de la situación ambiental observando un incremento del 10% de las precipitaciones y un aumento del Coeficiente de escorrentía, originado particularmente por la urbanización y la incorporación de invernáculos al uso del suelo.

**Palabras Clave:** Tendencia de uso del suelo – Esgurrimiento – Cambio climático – Río de La Plata –Número de curva.

### Abstract



Knowledge and evaluation of the influence generated by climate change and land use, is emerging, especially when analyzing the phenomenon integration precipitation - runoff. The objective is to represent the interaction between land use changes and storm evolution to predict this influence on runoff for the period 2029-2050, on the southern edge of the Rio de La Plata, covering Berisso, Ensenada and La Plata states. A methodology for forecasting environmental developments observing a 10% in increment precipitation and increase particularly caused by the urbanization and the incorporation of land use greenhouses

**Keywords:** Land use trends - Runoff - Climate Change - Río de La Plata – Curve number..

Recibido / Received: Septiembre 15 de 2014 Aprobado / Approved: Noviembre 20 de 2014

Tipo de artículo / Type of paper: Investigación científica y tecnológica terminada.

Afiliación Institucional de los autores / Institutional Affiliation of authors: Universidad de La Plata Argentina, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Autor para comunicaciones / Author communications: Alfonso Martín Rodríguez Vagaría, cuencas@agro.unlp.edu.ar

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

## Introducción

En las últimas dos décadas se han incrementado las investigaciones relacionadas con el análisis y modelamiento del cambio en el uso del suelo, principalmente los referidos al proceso de deforestación en países tropicales (Kaimowitz y Angelsen, 1998; [1] Sandoval y Oyarzun, 2003) [2]. El cambio de uso del suelo genera una transformación importante en la dinámica del agua superficial y subterránea, debido al aumento del cubrimiento del suelo, eliminación de una cobertura vegetal absorbente, aumento de la extracción de agua de los acuíferos para riego, entre otros.

Según Henríquez *et al*, 2006, [3] Hough ha determinado que si se reduce la cobertura de árboles y vegetación en el área urbana decrece la evapotranspiración de 40% a 25%; aumenta la tasa de escorrentía de 10% a 30%; disminuye el tiempo de retraso entre la iniciación de precipitaciones y escorrentía; y, decrece la infiltración subterránea de 50% a 32%. Estos antecedentes permiten afirmar que uno de los más notables impactos ambientales del reemplazo de coberturas naturales por coberturas impermeables, corresponde al aumento de la escorrentía superficial.

Particularmente, en el Gran La Plata en la Provincia de Buenos Aires (Argentina) en la última década, la emigración de la población hacia la periferia en busca de nuevas oportunidades laborales y de un nuevo hábitat, se traduce en un aumento de la ocupación de nuevas superficies en los límites físicos de la ciudad, concretamente en la frontera entre los ámbitos urbanos y no urbanos. Con la expansión de la ciudad, tierras que se destinaban a explotaciones primarias intensivas presentan ahora otros usos del suelo, propios de un área urbana. Estos nuevos loteamientos generan una revalorización del suelo, que desencadena una acelerada especulación por parte de los agentes inmobiliarios (Frediani y Matti; 2006). [4] Así, los suelos agrícola-intensivos van cediendo lugar a una ocupación relacionada con el uso residencial permanente o de fin de semana, el uso recreativo o de esparcimiento, el uso industrial, entre otros (Frediani, 2009). [5]

En contraposición, García (2011) [6] expone que la superficie bajo invernáculo (estructuras de madera recubiertas con polietileno que buscan controlar el ambiente bajo ellas) para uso hortícola, en La Plata, está en expansión desde la década de 1980. Los resultados del Censo

Hortícola de Buenos Aires de 1998, expresaron un aumento promedio de 33 has de invernáculos por año, reduciéndose a casi 15 has/año, en el período de recesión económica del país (entre 1998 y el 2001). A partir de este período, la tasa de crecimiento de la superficie bajo cubierta se incrementó a un promedio de 60 has/año, según el Censo Hortícola Bonaerense de 2005.

El presente trabajo propone avanzar en el conocimiento y evaluación de la influencia que generan los cambios climáticos y de uso del suelo, particularmente el fenómeno la precipitación – escorrentía, en las condiciones ambientales del borde sur del Río de La Plata, abarcado por los Partidos de Berisso, Ensenada y La Plata. Estos cambios pueden generar importantes efectos en el desarrollo socioeconómico y en los riesgos a que se encuentra sometida esta la región. El objetivo propuesto es representar la interacción entre los cambios del uso del suelo y evolución pluvial con el fin de pronosticar esta influencia sobre la escorrentía superficial media anual para el período 2029-2050. Además, una meta es el desarrollo de una metodología de pronósticos de evolución de la situación ambiental que favorezcan la conservación y manejo de los recursos en un sector costero del Río de La Plata.

El uso de modelos de proyección cartográfica del cambio en el uso del suelo son relativamente fiables, dada por la eficacia y exactitud espacial que le otorga el uso de bases de datos geográficos, integrados a un Sistemas de Información Geográfico (SIG) (Sandoval y Oyarzun, 2003). [2] Estos modelos de cambio de uso se han transformado en una poderosa herramienta de análisis espacial orientada, principalmente, a los siguientes aspectos: (a) Explorar los variados mecanismos que fuerzan los cambios de uso del suelo y las variables sociales, económicas y espaciales que conducen a esto; (b) Proyectar los potenciales impactos ambientales y socioeconómicos derivados de los cambios en el uso del suelo, y (c) Evaluar la influencia de alternativas políticas y regímenes de manejo sobre los patrones de desarrollo y uso del suelo (Aguayo et al., 2007). [7]

Este cambio de uso del suelo, en forma conjunta con el movimiento inmobiliario, genera una tendencia a modificar el agua disponible y los excesos hídricos luego de una tormenta. Estas tendencias espacio – temporal y cada uno de los componentes del ciclo hidrológico,

pueden ser modelizados expresando el carácter dinámico de la información incluida en el sistema (Gaspari *et al*, 2009). [7]

El Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (Soil Conservation Service - S.C.S.) en 1964, desarrolló un método sencillo para calcular la lluvia efectiva como una función de la lluvia acumulada, la cobertura y uso del suelo, el tipo de suelo y sus condiciones de humedad, denominado Número de curva (NC) y permite calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta, que por diferencia establece el escurrimiento superficial. El mismo, determina que cada complejo suelo-vegetación le corresponde un NC que define sus condiciones hidrológicas (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; [8] López Cadenas del Llano, 1998). [9] Mark y Marek (2011), [10] señalan que las pérdidas por infiltración – escorrentía dependen fundamentalmente de las características de suelo y del uso de la tierra, representada por la cobertura vegetal.

Mejorar la aplicabilidad del método de NC a nivel geoespacial con bases de datos digitales desarrolla un nuevo acercamiento al procesamiento de información y accesibilidad de datos, porque permite establecer una zonificación de la escorrentía directa por un método que es ampliamente utilizado y de fácil ejecución. El almacenamiento y procesamiento de esta información georreferenciada a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG) representa un gran avance en la planificación del uso y conservación los recursos. El modelo GeoQ, con aplicación del método del número de curva,

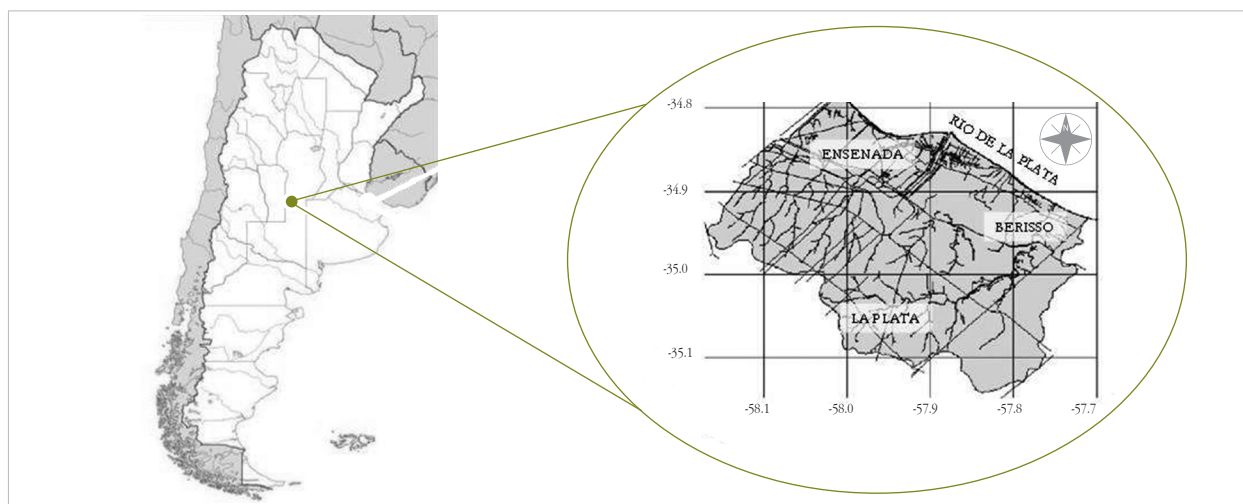
es una herramienta útil para el cálculo de la escorrentía a nivel espacial ya que se utilizan datos de suelo y vegetación y/o uso del suelo que, generalmente, son de fácil disponibilidad. Se puede utilizar para gestionar y manejar cuencas hidrográficas y proyectos ambientales, sociales e hidrológicos; para estimar descargas, y para predecir la respuesta según se asocie a posibles cambios (Rodríguez Vagaría *et al*, 2012). [11]

## Materiales y métodos

El modelo conceptual de estudio se inicia con la caracterización hidrodinámica de la relación aguas superficiales y la probable influencia de las distintas actividades antrópicas y usos del suelo de un sector costero del Río de La Plata, Argentina. Los límites del área fueron definidos por las divisorias de aguas correspondientes a los arroyos que desembocan en los Partidos de Berisso y Ensenada (Figura 1). Fitogeográficamente, se encuentra sobre pastizales pampeanos, con clima templado subhúmedo, con heladas en invierno. La cubierta vegetal regional conforma una estepa gramínea modificada por actividades agrícola, forestal, hortícola, frutícola y ganadería vacuna, porcina y avícola.

Las características edáficas y la cobertura vegetal que sustenta, en forma integrada a los registros pluviográficos, conforman los datos básicos para el análisis hidrológico espacio-temporal, en pequeñas cuencas hidrográficas (Kent, 1968; [12] Gaspari *et al*, 2009). [7] La composición cartográfica del uso del suelo y grupo

Figura 1. Mapa de ubicación del área en estudio.



hidrológico (GH) genera una nueva capa temática de áreas con características semejantes, donde cada una responderá de manera análoga bajo el efecto de una tormenta de intensidad variable. Cada área se define por un valor de número de curva (NC) (Gaspari et al., 2009; [7] Rodríguez et al, 2012). [11] El NC (SCS, 1964), [13] es un método empírico para el cálculo de la transformación de lluvia-escurrimiento, que surgió de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo y para distintas condiciones de humedad antecedente (Chow et al., 1994; [14] López Cadenas de Llano, 1998; [9] Mintegui Aguirre y López Unzu, 1990). [8]

La metodología aplicada se inició con el análisis de la tendencia temporal de la precipitación. Para ello, se consideraron tres escenarios: pasado - presente – futuro (o proyectado), considerando períodos de 22 años cada uno, entre 1968 - 2011 - 2050, respectivamente. La tendencia de la precipitación se analizó con datos diarios de las estaciones meteorológicas del Aeródromo de La Plata y del Observatorio de La Plata, ubicados dentro del área en estudio. Posteriormente, se compatibilizaron las series temporales de lluvia diarias, según los períodos completos de información. Una vez compatibilizadas se dividió cada serie según los años: 1968-1989 (pasado) y 1990-2011 (actual). La proyección pluviométrica para el período 2029-2050 (22 años) se realizó por medio de un coeficiente de proyección lineal, obtenido a partir de la evolución de la precipitación media anual para cada uno de los períodos, para cada estación. La base de datos meteorológica se definió espacialmente aplicando polígonos de Thiessen.

Diversas herramientas para el manejo y procesamiento de información geoespacial, que constituyen los SIG (Sistema de Información Geográfica), pueden ser automatizadas y utilizadas para la obtención de nueva información útil para el análisis de la hidrología de superficie (Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2010). [15]

La zonificación de la cobertura vegetal se definió para los años 1986 (pasado) y 2011 (actual), considerándolos como escenarios representativos de cada período. Se desarrolló a través de un geoprocésamiento digital, a partir de la interpretación de imágenes satelitales Landsat TM. El escenario del uso de suelo proyectado al año 2050 fue realizado por la aplicación de diversos módulos de procesamiento geoespacial de Idrisi Taiga ®. Se inició

con un análisis de cadenas de Markov, el cual compara un par de imágenes de la cobertura del suelo y genera una matriz de probabilidad de transición, una matriz de transición de áreas y un conjunto de imágenes de probabilidad condicionales.

La aplicación del método basado en las cadenas de Markov, de una evaluación multicriterio (EMC) y una evaluación multiobjetivo (EMO), se apoyó en la constatación de diferencias significativas del comportamiento espacio-temporal en relación con una repartición teórica supuesta (espacio homogéneo e isótropo), analizando de hecho el impacto de la “rugosidad” geográfica. Esta rugosidad depende de un conjunto de variables conocidas, disponibles y cartografiadas, a una escala compatible con la serie cronológica (Paegelow et al, 2003), [16] que en este caso se aplicó sobre los mapas de usos del suelo.

Con estos resultados se elaboró una tendencia con el módulo predicción de cambios automáticos (Ca\_Markov), a partir de un procedimiento denominado MOLA (Multi-Criteria/Multi-Objective), donde se evaluó la cobertura del suelo por un procedimiento de predicción, que añade un elemento de contigüidad espacial, así como el conocimiento de la probable distribución espacial de las transiciones de análisis de la cadena de Markov.

MOLA es un procedimiento para la solución de multi-objetivo de asignación de usos para los casos con objetivos contradictorios, basándose en la información de un conjunto de mapas (en este caso de clases de uso del suelo), uno para cada objetivo, asignándole los pesos relativos y la cantidad de área a cada uno. A partir de estas asignaciones, MOLA determina una solución de compromiso que trata de maximizar la aptitud de las tierras para cada objetivo determinando los pesos asignados, generando un mapa de tendencia de cambio de uso del suelo (Eastman, 2006). [17]

En el área en estudio, las zonas en las cuales no se suponen cambios de uso del suelo a nivel proyectual, corresponden a áreas con restricciones. Las restricciones corresponden a mapas binarios (0/1) o booleanos, en donde las zonas excluidas del análisis o máscaras gráficas (valor 0) pueden corresponder al fondo no útil de la imagen, a categorías de usos del suelo incompatibles con la analizada, o bien a las clases o intervalos de aquellas variables significativas donde se ha comprobado la ausencia justificada de dicha categoría (Paegelow et al, 2003). [16]

La evaluación de la tendencia de cambio espacio temporal del uso del suelo, entre los escenarios estudiados (1986 - 2011 - 2050), se realizó por medio de la aplicación del Módulo Land Change Modeler (LCM) de Idrisi Taiga ®. Según Eastman, este módulo permite analizar cambios en la cobertura del suelo, proyectando su tendencia y evaluando sus implicancias en los cambios de hábitat y biodiversidad (2006).

Para completar la caracterización hidrodinámica de la relación aguas superficiales y la probable influencia de las distintas actividades antrópicas, se incorporó al estudio la caracterización edáfica. Por ello, a partir de la clase textural de los suelos según la clasificación de USDA (United States Department of Agriculture, 1964), se definieron los grupos hidrológicos (GH) en el área en estudio. Posteriormente, por medio del procesamiento e interpretación de los mapas de suelos elaborados por Hurtado et al (2006), [18] se generó el mapa de GH.

La zonificación en entorno SIG a través del modelador de procesamientos GeoQ genera entre otros, un mapa de distribución geoespacial de NC y mapas intermedios permanentes para la modelización hidrológica (Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2010). [15] En este trabajo se adaptaron los mapas de vegetación y uso del suelo y GH para aplicar el GeoQ y obtener la zonificación del NC por período, según condición de humedad antecedente II.

Posteriormente, se generó una planilla de cálculo en Gnumeric © [19] (software libre en web, 2010), basada en el método del NC para la determinación de la escorrentía diaria, a partir de la base de datos pluviométrica y los valores de NC, anteriormente mencionados. También se determinó la escorrentía anual como la sumatoria de escorrentía diario de cada año y la escorrentía medio anual para cada período, como el promedio de la escorrentía anual. Estos resultados conformaron una base de datos tabular que se procesó con SIG para realizar un análisis geoespacial de la escorrentía y el coeficiente de escorrentía (CE), en cada período considerado.

## Resultados y discusión

Se observó que el cambio histórico de las precipitaciones medias anuales consideradas entre los períodos 1968 - 2011 (Tabla 1) alcanzó un valor aproximado de 9,4%, con un aumento mayor al 9% en el número de días con lluvia

en ambas estaciones. La lluvia máxima diaria (Pp Máx) en la estación Observatorio se incrementó en 11,3 mm, siendo para la estación Aeródromo de 2,8 mm.

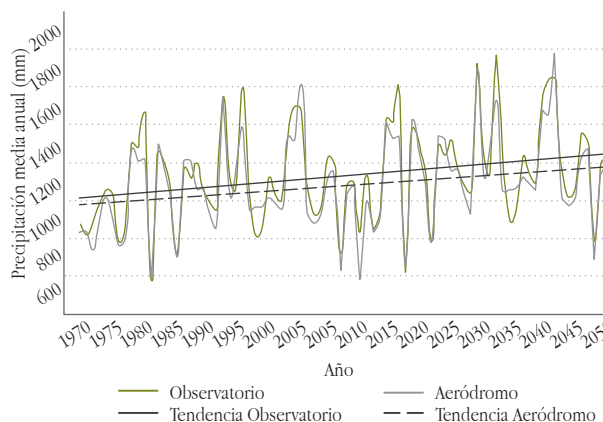
**Tabla 1.** Estadística de datos de precipitación (Pp) promedio anual.

Promedio	Observatorio		Aeródromo	
	1968-1989	1990-2011	1968-1989	1990-2011
Pp anual (mm)	1028,2	1124,4	980,9	1072,3
Días con lluvia	105,2	121,8	100,8	110,6
Pp Máx Diaria (mm)	86,0	97,3	84,1	86,9

Fuente: Elaboración propia sobre datos de las estaciones meteorológicas Observatorio y Aeródromo.

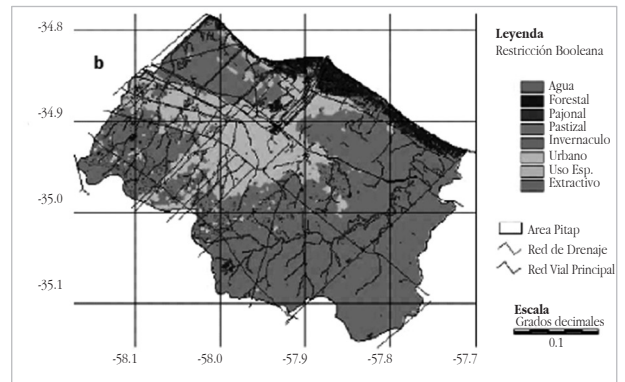
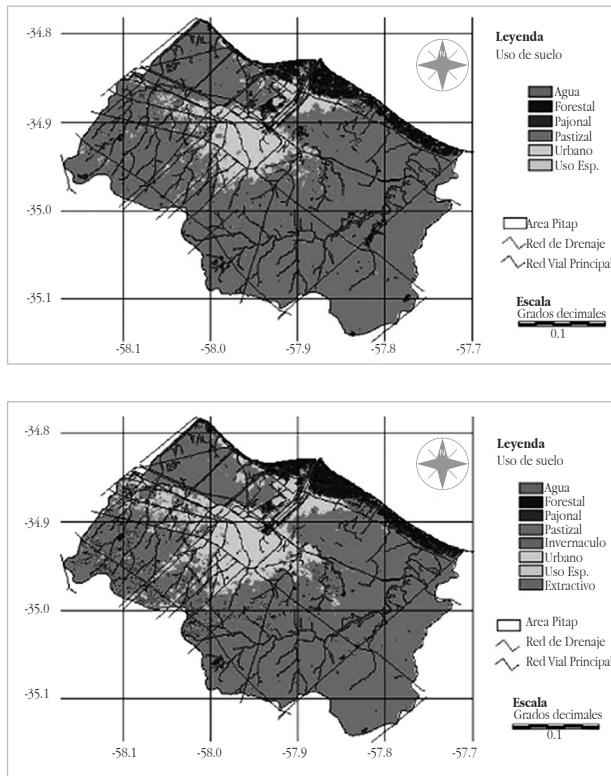
Esta tendencia se utilizó para proyectar al año 2050 las lluvias medias anuales (Gráfico 1) y precipitaciones diarias, las cuales se incluyeron en la base de datos. El coeficiente de proyección utilizado fue de 1,094 para ambas estaciones.

**Gráfico 1.** Evolución de la lluvia anual y tendencias para el período en estudio, según estación meteorológica.



La definición de áreas de mayor consistencia estructural de usos del suelo permitió establecer seis clases de uso de suelo para el escenario pasado y ocho clases en el escenario actual. Las clases son: Agua, Forestal, Pajonales, Pastizales, Invernáculos, Urbano, Usos especiales, Áreas extractivas representadas en la Figura 2.

Figura 2. Usos del suelo en los escenarios pasado y actual.



La superficie de ocupación del área con restricciones es de 71,8 km<sup>2</sup> (7,9 %) y no presenta restricciones de uso una zona de 834,4 km<sup>2</sup>, representando el 92,1% del total del área. Los cambios de superficie de ocupación del uso del suelo se representaron durante el transcurso del período 1986 – 2011 y se proyectaron al período 2011 – 2050 (Figura 3b). Ambas situaciones presentan pérdidas y/o ganancias en superficie. Los resultados alcanzados por el procesamiento y proyección de uso del suelo en los períodos analizados, a través del método de Markov, fueron integrados al módulo LCM, obteniendo el Gráfico 2.

En el análisis temporal proyectual se definieron restricciones de uso del suelo para la aplicación de MOLA, generando un mapa de restricciones booleanas (Figura 3a). El supuesto fue que las clases de Invernáculos, Pastizal y Urbano de usos de suelo poseerían una modificación espacio-temporal. A partir de la aplicación de Markov, los cambios temporales de usos del suelo y las restricciones se obtiene el mapa de usos del suelo futuro (Figura 3b)

Gráfico 2. Cambios de la superficie de ocupación en la cobertura del suelo.

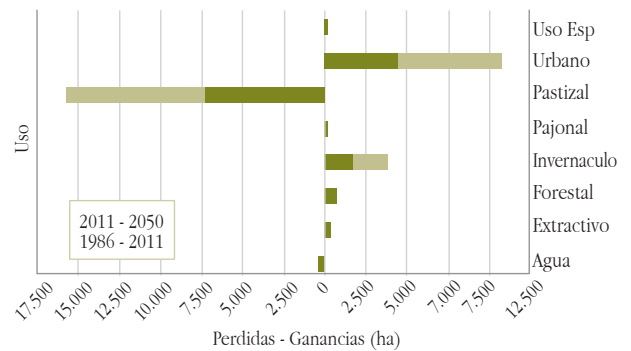
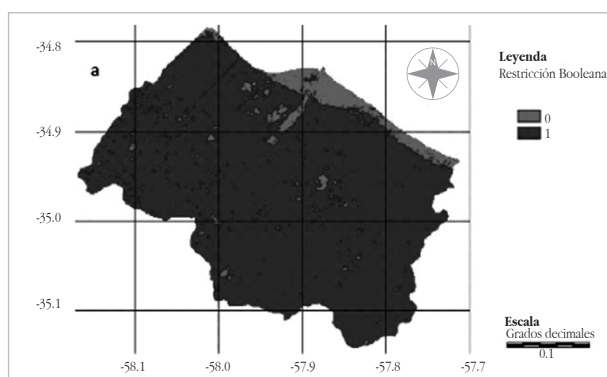


Figura 3: a. Restricciones de uso del suelo. b. Usos del suelo en los escenarios futuro.

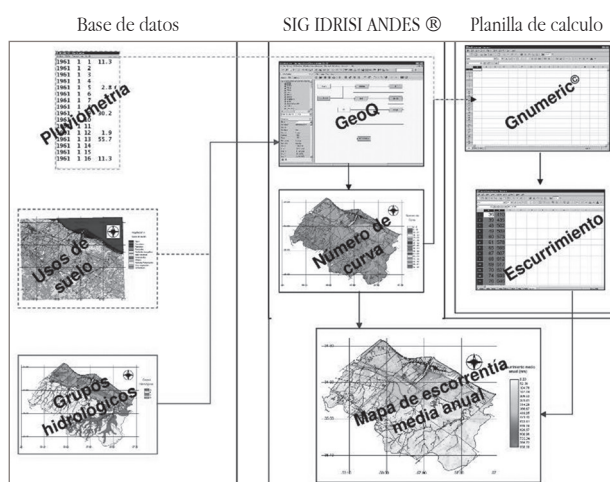


Las pérdidas ocurren principalmente sobre el pastizal (8%) proyectando al año 2050 un aumento en la superficie perdida de 9,2%, respecto de la actualidad.

Los usos especiales, extractivos y pajonal, han aumentado un 0,2% de área cada uno durante el primer período. No se proyectaron cambios a futuro. La urbanización ha presentado un crecimiento del 5% en los últimos 22 años y se proyectó un crecimiento del 7%. Los invernáculos en la década de 1980 iniciaban su actividad. En la actualidad, se está desarrollando con mucho impulso, lo cual

se proyectó un crecimiento de 3% (2080 has) para 2050, según referencias bibliográficas y análisis tendencial de Markov. La actividad forestal ha presentado un aumento durante el primer período de estudio, la cual se estabilizó en el tiempo. En relación a la distribución de los espejos de agua, se ha producido una merma hasta la actualidad. Para la implementación de la metodología mencionada para la cuantificación y zonificación del escurrimiento superficial, se generó un modelo cartográfico que expresa la secuencia de aplicación geoespacial con SIG (Figura 4)

Figura 4. Modelo cartográfico metodológico.



La zonificación por grupos hidrológicos de suelos se estableció a partir de la interpretación de cada unidad cartográfica de suelos (Tabla 2).

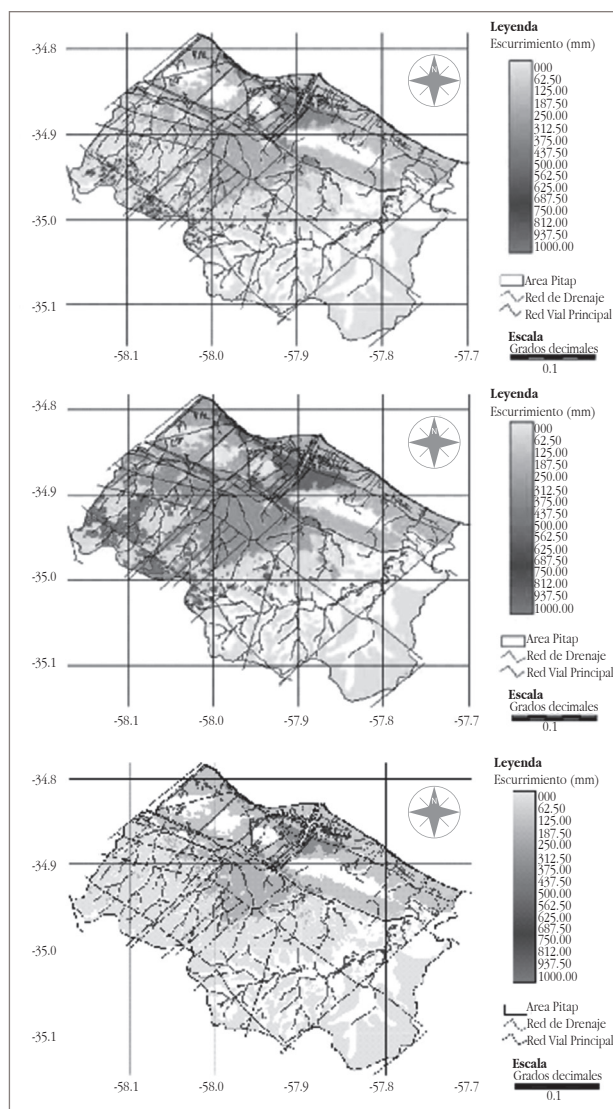
Tabla 2. Grupos hidrológicos según unidad cartográfica de suelos.

Unidad Cartográfica	GH
Haprendoles típicos	A
Argiudoles vérticos y Hapludertes típicos - Hapludoles oxiacuicos Natracualfes vérticos	B
Natracuales Natracualfes argiacuoles epiacuoles típicos vérticos - Natracualfes típicos vérticos - Natralboles y Natracuoles típicos y vérticos - Natracualfes típicos	C
Natracuertes típicos - Fluvacuantes típicos	D

Fuente. Elaboración propia sobre datos de suelos de Hurtado et al (2006).

El análisis de la zonificación de los datos aportados por la Tabla 2, se define que 29% de la cuenca está representada por el GH A, 47% por el B, 1% por el C y el D cubre el 23%. La Figura 5 expresa la zonificación de la escorrentía superficial media anual obtenida por la interacción entre los cambios del uso del suelo y evolución pluvial.

Figura 5. Tendencia de la evolución de la escorrentía media anual en el área en estudio, para el año 1986, actualidad y proyección 2050.

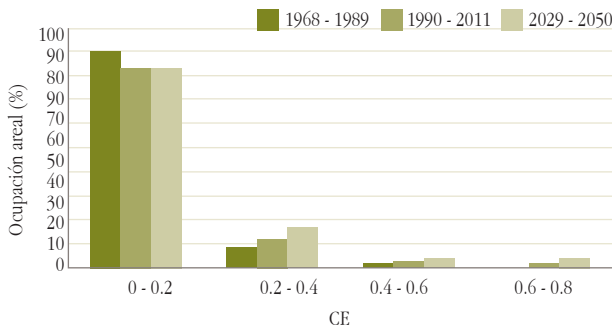


A partir de los resultados antecedentes, se generó un pronóstico de la influencia de ambos factores sobre la escorrentía superficial, indicando un aumento de ocupación en superficie desde el inicio del estudio, como se mencionó en la tendencia de cambios de usos del suelo. La situación actual expresa el aumento de la escorrentía

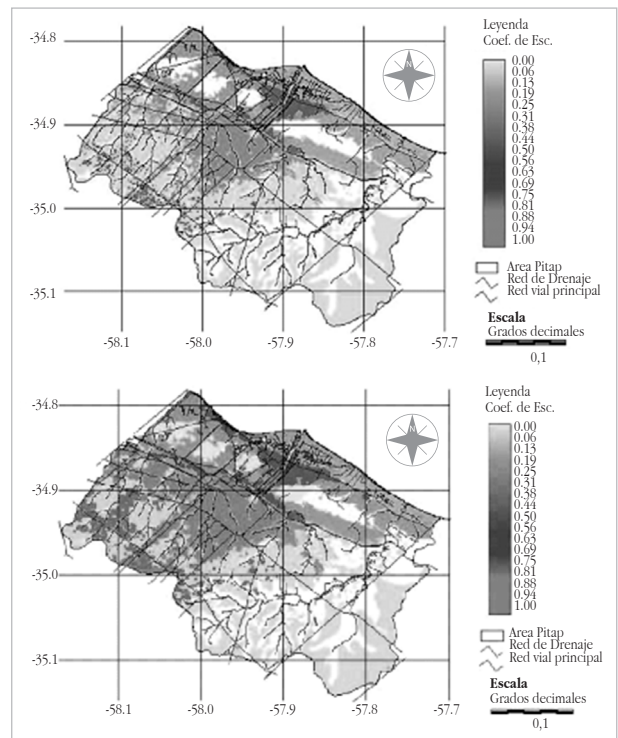
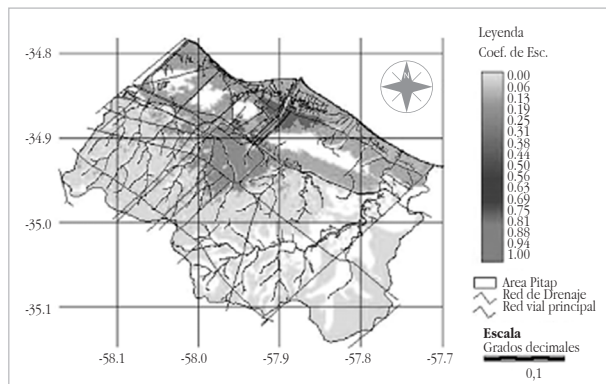
sobre las áreas ocupadas actualmente por invernáculos y el crecimiento de la urbanización, siendo considerable su impacto sobre el año 2050.

En la Figura 6, se representa la distribución del coeficiente de escorrentía (CE) en el área en estudio, zonificando de manera análoga los valores de escurrimiento indicando el aumento de la distribución del CE hacia la proyección 2050. Además se visualiza que las áreas sin cambios en la cobertura del suelo han reflejado un leve aumento debido al aumento de las precipitaciones medias anuales, como se mostró en el Gráfico 1.

El Gráfico 3 indica el cambio en la superficie de ocupación del CE para los años analizados, expresado en cuatro rangos. Se evidencia una disminución en el rango menor a 0,2 de CE, desplazándose hacia los rangos mayores. Se inician los rangos mayores a 0,4 de CE en el año 2011, alcanzando valores de hasta 0,74 en ese mismo año, expresados particularmente por el aumento de la urbanización y la incorporación de invernáculos al uso del suelo. Para la proyección, estos dos rangos fueron levemente superiores, debido únicamente al aumento de las precipitaciones.



**Figura 6.** Tendencia de la evolución del coeficiente de escorrentía en el área en estudio, para el año 1986, actualidad y proyección 2050.



El modelo cartográfico generado expresa la secuencia de procesamiento digital que se desarrolló para el diagnóstico hidrológico geoespacial en un sector costero del Río de la Plata. A partir de la interpretación de imágenes satelitales, cartografía y bibliografía, se obtuvo información básica, reflejada en la base de datos cartográfica (suelos y uso del suelo), utilizada para identificar, procesar y ajustar al área en estudio, la información antecedente, con SIG.

La aplicación del macro-modelo de procesamiento automático para el cálculo de la escorrentía GeoQ, a través de un entorno gráfico de pasos múltiples, proporcionó la zonificación el NC para los tres períodos de tiempo. Posteriormente, con el procesamiento en forma integrada con la base de datos de lluvias, se estableció el coeficiente de escurrimiento.

## Conclusiones

Se concluye, que este trabajo permitió modelizar escenarios climáticos y de uso del suelo, proporcionando una modelización de la interacción entre los cambios del uso del suelo y evolución pluvial, con el fin de proyectar y pronosticar la influencia sobre la escorrentía superficial al año 2050. Este análisis de tendencia vislumbró que las áreas sin cambios en la cobertura del suelo durante



el período han reflejado un leve aumento del escurrimiento debido al aumento de las precipitaciones medias anuales. En relación a las áreas con una modificación en el uso del suelo, además de considerar este aumento por las precipitaciones, se identificó que la instalación de invernáculos y ampliación de la urbanización, han incrementado adicionalmente el escurrimiento superficial.

## Referencias

- [1] Kaimowitz, D. and A. Angelsen. 1998. Economic Models of Tropical deforestation. A Review, Center for International Forestry Research, Malaysia 305 pp.
- [2] Sandoval, V y V. Oyarzun. 2003. "Modelamiento y prognosis espacial del cambio en el uso del suelo". Quebracho. 11. Santiago del Estero. Argentina. 9-21 pp.
- [3] Henríquez, C.; Azocar, G. y M. Aguayo. 2006. "Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile". Rev. Geogr. Norte Grande., Santiago de Chile, n.36. Consultado en Agosto de 2012. Disponible en [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34022006000200004&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34022006000200004&lng=es&nrm=iso).
- [4] Frediani, J. C. y C. Matti. 2006. "Transformaciones urbanas en el partido de La Plata desde los años '90. ¿Hacia un modelo de ciudad compacta o difusa?". Geograficando. 2 (2). 179-199 pp. Consultado en Agosto de 2012. Disponible en: [http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art\\_revistas/pr.359/pr.359.pdf](http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.359/pr.359.pdf).
- [5] Frediani, J. C. 2009. "Las nuevas periferias en el proceso de expansión urbana. El caso del partido de La Plata". Geograficando. 5, (5). 103-125 pp. Consultado en Septiembre de 2012. Disponible en: [http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art\\_revistas/pr.4445/pr.4445.pdf](http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.4445/pr.4445.pdf)
- [6] García, M. 2011. "El cinturón hortícola platense: ahogándonos en un mar de plásticos. Un ensayo acerca de la tecnología, el ambiente y la política". Theomai N° 23. Buenos Aires. 19 pp.
- [7] Aguayo, M. I., T. Wiegand, G. D. Azócar, K. Wiegand and C. E. Vega. 2007. "Revealing the driving forces of mid-cities urban growth patterns using spatial modeling: a case study of Los Ángeles, Chile". Ecology and Society 12 (1): 13. Consultado en Septiembre de 2012. Disponible en: <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art13/>.
- [8] Gaspari, F. J., Senisterra, G. E.; Delgado M. I.; Rodríguez Vagaría. A. M. y S. I. Besteiro. 2009. Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas. Ed Gaspari. La Plata. 321 pp.
- [9] Mintegui Aguirre J. A. y J. López Unzu. 1990. La ordenación agrohidrológica en la planificación. Ed. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. España.. 308 pp
- [10] López Cadenas de Llano, F. 1998. Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión. Ed. TRAGSA. España. 945 pp.
- [11] Mark, A. and P. E. Marek. 2011. Hydraulic Design Manual. Texas Department of Transportation (TxDOT). Published by the Design Division (DES). USA. Consultado en Junio de 2012. Disponible en: [http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/hyd/manual\\_notice.htm](http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/hyd/manual_notice.htm)
- [12] Rodríguez Vagaría, A; Gaspari, F.; Senisterra, G.; Delgado, M. I.; y S. Besteiro. 2012. "Evaluación del efecto de la restauración agro-hidrológica mediante la aplicación del modelo hidrológico GeoQ". Revista de Investigación Venezolana. Consultado en Agosto de 2012 Disponible en: <http://ria.inta.gov.ar/?p=1981>
- [13] Kent, K.M. 1968. A method for estimating volume and rate of runoff in small watersheds. U.S. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. SCS-TP 149. USA. 63pp.
- [14] SCS. Soil Conservation Service. 1964. Hydrology. Part1. Watershed Planning. Section4. Chapter 10. Estimation of direct runoff from storm rainfall. SCS National Engineering Handbook. US Department of Agriculture. USA. 26 pp.
- [15] Chow, V. T., D. Maidment and L. Mays. 1994. Hidrología Aplicada. Ed. Mc Graw Hill Interamericana S.A., Bogotá, 2000. 584 pp.

- [16] Rodríguez Vagaría, A. y F. Gaspari. 2010. "GeoQ: Herramienta para la determinación del número de curva y escorrentía bajo entorno S.I.G. Idrisi Andes®". *International Review of Geographical Information Science and Technology*. GeoFocus España.. N°10. 11-26 pp.
- [17] Paegelow, M., Camacho Olmedo, M. T. y J. Menor Toribio. 2003. "Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje". *Revista GeoFocus*. n° 3. España. pp 22-44.
- [18] Eastman, J. R. 2006. IDRISI Andes ®. Guide to GIS and Image Processing. Tutorial. Worcester, MA: Clark Labs, Clark University. USA. 328 pp.
- [19] Hurtado, M. A.; Giménez, J. E. y M. G. Cabral. 2006. *Análisis ambiental del partido de La Plata: Aportes al ordenamiento territorial*. 1ª ed. Buenos Aires. Consejo Federal de Inversiones. 134 p.
- [20] Gnumeric ©. 2010. *Gnumeric Manual: Version 1.10*. The Gnumeric Team. Consultado en Junio de 2012. Disponible en: <http://projects.gnome.org/gnumeric/doc/gnumeric.shtml>.
- [21] Gaspari, F.J.; Senisterra, G.E.; Rodríguez Vagaría, A.; Delgado, M.I. y S. Besteiro. 2011. "Simulación espacio – temporal del escurrimiento directo en la cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande". *Revista de Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*.
- [22] ASAGAI. Vol 27. Consultado en Septiembre de 2012. Disponible en: <http://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/476>
- [23] Linsley, R.; Kohler, M. y J. Paulhus. 1993. *Hidrología para ingenieros*. Segunda edición. Editorial McGraw-Hill. México. 386 pp
- [24] Mintegui Aguirre, J. A. y J. C. Robredo Sánchez. 1994. *Caracterización de las cuencas hidrográficas, objeto de restauración hidrológico-forestal, mediante modelos hidrológicos*. Ingeniería del Agua. España. Vol. 1 Num. 2. 114 pp.
- [25] Pei-Jun Shi, Yi Yuan, Jing Zheng, Jing-Ai Wang, Yi Ge and Guo-Yu Qiu. 2007. "The effect of land use/cover change on surface runoff in Shenzhen region, China". *Catena*. Elsevier. V69. pp 31–35.
- [26] Pintos, P. 1993. "Aproximaciones teóricas acerca de los procesos de periurbanización". En *Primeras Jornadas Platenses de Geografía*. Tomo II. La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad Nacional de La Plata. pp 386-395
- [27] Rango, A. 1985. "Assessment of Remote Sensing Input to Hydrologic Models". *Water Resources Bulletin*. 21 (3), pp 423– 432.

## Referencias de consulta

---

## Los Autores



---

### Alfonso Martín Rodríguez Vagaría

Ingeniero Forestal y Magister en Manejo Integral de Cuencas, recibido en la Universidad Nacional de La Plata (Argentina). Es docente de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP) desde el año 2007, desarrollando tareas en el curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Participa en proyectos de Incentivos a la Investigación desde el año 2009. Entre sus publicaciones se encuentran 2 libros, artículos en revistas científicas y publicaciones en congresos, simposios y jornadas de la especialidad.



---

### Fernanda Julia Gaspari

Ingeniera Forestal, y Magister Scientiae Conservación y Gestión del Medio Natural. Doctora en Ingeniería Hidráulica. Con 19 años en docencia universitaria, siendo actualmente en Grado Profesora Adjunta a Cargo del Curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. En Post-Grado se desempeña como Codirectora de la Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas, siendo además Profesora a cargo de dos cursos. Entre sus publicaciones se encuentran 8 libros, 8 capítulos de libro, 25 artículos en revistas y 82 trabajos en congresos. Ha realizado 22 informes técnicos y informes, y organizado 6 convenios inter-institucionales. Dirigió 10 tesis de Maestría; y actualmente tiene 2 en desarrollo. Dirige 3 tesis de doctorado. Ha dirigido 4 becas de experiencia laboral y 3 becas de Postgrado.



---

### Eduardo Emilio Kruse

Doctor en Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de La Plata (Argentina), especializado en Hidrología General (UNESCO). Su actividad de investigación, docencia y profesional se relaciona fundamentalmente con la hidrología, en especial con evaluación de aguas subterráneas y aguas superficiales en regiones llanura de Argentina y Latinoamérica. Es Profesor Titular de la Universidad Nacional de La Plata, estando a cargo de cursos de grado, de maestría y doctorado, es Profesor de postgrado en la Universidad Nacional de La Pampa y además Profesor Honorario de la Universidad Privada Antenor Orrego (Perú). Actualmente se desempeña como Investigador Principal del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Argentina (CONICET). Es autor de más de 150 artículos publicados en revistas especializadas, libros, capítulos de libros, actas de congresos y memorias técnicas.