



GeoQ: Automatización del procesamiento de cálculo de la escorrentía superficial con el método de Numero de Curva bajo entorno QGis ®.

Fabio Alejandro Montealegre Medina¹ - Fernanda Julia Gaspari².

Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas.

Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena (CEIDE). www.ceide.unlp.edu.ar

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.

Universidad Nacional de La Plata.

¹ Ingeniero Catastral, Mg. Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. Becario doctoral en Manejo de Cuencas Hidrográficas. FCAF-UNLP. CICPBA. - fabio.montealegre@agro.unlp.edu.ar

² Ingeniera Forestal, Mg. Conservación y Gestión del Medio Natural y Dra en Ingeniería. Profesora Titular de Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Directora CEIDE de la FCAF-UNLP. - fgaspari@agro.unlp.edu.ar



Tabla de contenido

Introducción.....	3
Método del Número de Curva (NC) para GeoQ.....	5
Descripción general del modelo.	11
Procedimiento	11
Confección de Archivos de entrada	13
Límite del área de estudio o cuenca hidrográfica	13
Datos de precipitación	13
Archivo vectorial de GH de suelos.....	14
Archivo vectorial de Cobertura vegetal y uso del suelo	15
Condición de Humedad Antecedente	15
Ejecución del Modelo.....	16
Datos de entrada estandarizados para GeoQ	16
Resultados de la modelización	18
Obtención de resultados.	18
Change log.....	20
Listado de trabajos aplicando GeoQ.....	21
Bibliografía	24



GeoQ: Automatización del procesamiento de cálculo de la escorrentía superficial con el método de Numero de Curva bajo entorno QGis ®.

Introducción

Los modelos de cambio de uso del suelo se han transformado en una poderosa herramienta de análisis espacial orientada a explorarlos e identificar sus variables sociales, económicas y espaciales, con la capacidad de proyectar potenciales impactos ambientales y socioeconómicos derivados y evaluar la influencia de alternativas políticas y regímenes de manejo sobre los patrones de desarrollo y uso del territorio, por medio de modelos espacio temporales.

El propósito principal del modelado es identificar la dinámica de los factores físicos y socioeconómicos que determinan o condicionan la presión para el cambio de uso de la tierra en la interfaz urbano-rural. El estudio y la evaluación de los patrones de crecimiento urbano/rural y las fuerzas que impulsan su transformación requieren la gestión y el uso de análisis espacial, estadísticas y técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Estas técnicas son necesarias para comprender la compleja dinámica de estos procesos y sus múltiples factores causales (Aguayo et al., 2007; Montealegre medina, y Gaspari, 2021).

El almacenamiento y procesamiento de información georreferenciada a través un SIG representa un gran avance en la planificación del uso y conservación los recursos suelo – agua - vegetación, conformando una herramienta de geoprocesos para la obtención de nueva información útil para el análisis de la hidrología de superficie. Como mencionan Gaspari et al (2019) el procesamiento de bases de datos con sus características descriptivas genera una dinámica temporal y espacial en forma coherente y sistemática.

La interacción entre modelos hidrológicos y de proyección cartográfica del uso del suelo es relativamente fiable, dada por la eficacia y exactitud espacial que le otorga el manejo de bases de datos geográficos, integrados a un SIG (Sandoval y Oyarzun, 2004; Rodríguez Vagaría et al., 2014; Gaspari et al., 2019, 2021). Según de Antueno et al. (2020), además, la modelización hidrológica es una herramienta clave para comparar los escenarios de gestión y el cambio de uso del suelo en cuencas hidrográficas.

La cuantificación del escurrimiento superficial es importante en los procesos de erosión hídrica superficial de los suelos, la cual genera fragilidad en los sistemas ambientales. Es por ello que se han desarrollado diferentes métodos paramétricos que utilizan fórmulas empíricas basadas en datos experimentales que permiten determinar el escurrimiento en las cuencas de recepción. La simplicidad con que se trata el fenómeno en estos casos hace que los resultados tengan un valor orientativo para períodos de tiempo suficientemente amplios, siendo desaconsejable su uso con series meteorológicas cortas o incompletas. Cuanto menos factores o parámetros intervienen, más sencilla resulta la ecuación de aplicar, pero ofrece menores garantías (López Cadenas del Llano, 1998; Gaspari et al, 2013).

Dentro de los métodos utilizados para determinar la lámina de escorrentía, la metodología del número de curva (NC), elaborada por el Soil Conservation Service (SCS) de los Estados Unidos, es la de mayor difusión cuando se desea tener una buena aproximación. Es una metodología empírica para el cálculo de la transformación de lluvia-escorrentía, que surgió de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo en varios estados de cobertura vegetal y para distintas condiciones de humedad antecedente (Mockus, 1972; Mintegui Aguirre y López



Unzú, 1990; Chow et al, 1994; López Cadenas de Llano, 1994; Gaspari et al, 2019).

Al considerar que la modelización hidrológica con SIG es viable, entonces hay que mencionar la importancia de las imágenes satelitales de eventos pluviales, porque conforman una herramienta fundamental en la modelización hidrológica debido a la posibilidad de observación a gran escala, que permite monitorear grandes extensiones geográficas de manera simultánea, lo cual es esencial para comprender la distribución espacial y temporal de la precipitación, especialmente en áreas remotas o de difícil acceso. Además, muchos satélites pueden proporcionar imágenes con una frecuencia de minutos u horas, lo que permite capturar eventos de precipitación de corta duración y alta intensidad, como aguaceros o tormentas, debido a la alta frecuencia temporal. Un uso reconocido de los datos de precipitación obtenidos de satélites es que se utilizan para calibrar y validar modelos hidrológicos, mejorando su precisión y confiabilidad y permite generar pronóstico y predicción de eventos extremos como inundaciones, sequías y deslizamientos de tierra, lo que es crucial para la gestión de riesgos y la toma de decisiones. Por último, el monitoreo en tiempo real de eventos hidrometeorológicos permite una respuesta rápida ante situaciones de emergencia.

A continuación, se presentan algunas de las principales fuentes de información que se puede consultar:

1. Agencias Espaciales y Organizaciones Internacionales

- NASA (National Aeronautics and Space Administration): Ofrece una amplia variedad de productos satelitales relacionados con la precipitación, como los datos de los satélites GPM (Global Precipitation Measurement) y TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission).
- ESA (European Space Agency): Proporciona datos de misiones como SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) y Sentinel-1 y Sentinel-2, que pueden ser utilizados para estimar la humedad del suelo y la vegetación, respectivamente.
- JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency): Ofrece datos de los satélites GPM y TRMM, así como de misiones japonesas como AMSR (Advanced Microwave Scanning Radiometer).
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration): Proporciona datos de precipitación de los satélites GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) y polar orbitantes.
- ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts): Ofrece reanálisis climáticos de alta resolución que incluyen estimaciones de precipitación.
- WMO (World Meteorological Organization): Coordina la observación y el intercambio de datos meteorológicos a nivel mundial.

2. Consorcios de Datos y Plataformas en Línea

- COPENICUS: Es el programa de observación de la Tierra de la Unión Europea, que ofrece acceso gratuito a una amplia variedad de datos satelitales, incluyendo los de Sentinel.
- USGS (United States Geological Survey): Ofrece datos hidrológicos, topográficos y de teledetección.



3. Publicaciones Científicas y Bases de Datos Bibliográficas

- Google Scholar: Permite buscar artículos científicos y tesis relacionadas con la modelización hidrológica y el uso de imágenes satelitales.
- Scopus: Es una base de datos bibliográfica que indexa artículos de revistas científicas, libros y actas de congresos.
- Web of Science: Es otra base de datos bibliográfica muy utilizada en el ámbito académico.

4. Software y Herramientas de Procesamiento de Imágenes

- Google Earth Engine: Una plataforma en la nube que permite procesar grandes volúmenes de datos geoespaciales.
- QGIS: Un SIG de código abierto que ofrece muchas de las mismas funcionalidades que ArcGIS.

En la actualidad, el software libre QGis® es una aplicación profesional de SIG de Código Abierto (FOSS) licenciado bajo GNU - General Public License, que proporciona una creciente gama de capacidades a través de sus funciones básicas y complementos, para visualizar, gestionar, editar y analizar datos y diseñar mapas. Además, los modelos hidrológicos tradicionales que simulen el proceso de la precipitación- escurrimiento pueden ser replicados con geoprocesos SIG (Montealegre Medina y Gaspari, 2021). Los complementos de QGis permiten extender su funcionalidad, utilizando Python, comprendiendo un entorno gráfico para la construcción y ejecución de modelos de pasos múltiples, para procesar mapas temáticos a través de modelos matemáticos. Estas capas temáticas pueden ser expresadas como una base de datos tabular, vectorial y/o en grilla.

Desde el grupo de trabajo del CEIDE se está trabajando en la modelización hidrológica geoespacial, por ello, se ha generado la presente herramienta de procesamiento automático **GeoQ** para el cálculo de la escurrimiento superficial, bajo entorno QGis®, aplicando el NC, que expresa la combinación del grupo hidrológico de suelo según clase textural (GH), los tipos de coberturas o vegetación y/o usos del suelo, según la condición de humedad antecedente del suelo (CHA), implementando el uso de imágenes satelitales de eventos pluviales de acceso libre, disponibles y de uso abierto en internet.

A continuación, se presenta GeoQ y la metodología implementada para la modelización hidrológica del territorio.

Método del Número de Curva (NC) para GeoQ.

El método del NC se determina por medio de la definición de un complejo suelo-vegetación según sus condiciones hidrológicas, con el cual se establecen las pérdidas por escurrimiento (Q), la infiltración (F) y las abstracciones iniciales generadas por la vegetación (I_0) (Mintegui Aguirre y López Unzu, 1990; López Cadena de Llano, 1994; Marek, 2011). Integrando estos conceptos se identifica una ecuación básica y reconocida como ciclo hidrológico, donde la suma de sus componentes es el total del valor de lluvia precipitada, siendo esta $P = (Q + F + I_0)$, que expresa que del total de agua de lluvia que cae sobre la superficie del terreno, una parte discurre por la superficie (escurrimiento), otra penetra en el suelo (infiltración) y otra se evapotranspira y/o queda sobre la vegetación (abstracciones). El NC presenta valores entre 0-100, donde a mayor valor, la escurrimiento es predominante, y disminuye infiltración (López Cadena de Llano, 1994; Gaspari et al., 2009).



El NC permite calcular la abstracción inicial de la cobertura vegetal en una tormenta (P), a partir del cual se establece la escorrentía superficial, estimando la precipitación efectiva (Q), según la Ecuación 1. Para ello, el procedimiento se inicia con la cuantificación de las abstracciones iniciales (I_0) según la Ecuación 2, a partir de la retención potencial máxima (S). Para la obtención del valor de S se utiliza el NC con la expresión de la Ecuación 3 (Gaspari et al., 2013). La infiltración (F) se cuantifica como la proporción de la precipitación (P) que penetra al interior del suelo, representada por la Ecuación 4 (Mockus, 1972; Kent, 1973; Gaspari et al., 2013; 2015).

$$Q = \frac{(P - I_0)^2}{P + 4 * I_0} \quad \text{Ecuación 1.}$$

$$S = 254 * \left(\frac{100}{NC} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 2.}$$

$$I_0 = 0,2 * S \quad \text{Ecuación 3.}$$

$$F = \frac{S * (P - I_0)}{P - I_0 + S} \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde: P es la precipitación; I_0 Abstracciones iniciales; S Retención potencial máxima;

NC: Número de Curva; F Infiltración.

Con base a conocer la proporción porcentual de cada uno, es útil conocer sus respectivos coeficientes, como se muestra en la Ecuación 5, siendo el total de precipitación P (%) la sumatoria de CE, CI_0 y CF (Gaspari et al., 2009, 2013).

$$CE = \frac{Q}{P} \quad CI_0 = \frac{I_0}{P} \quad CF = \frac{F}{P} \quad \text{Ecuación 5.}$$

Siendo CE el coeficiente de escorrentía; CI_0 el coeficiente de abstracciones iniciales y CF el coeficiente de infiltración.

Para definir el valor de NC hay que conocer el tipo de uso del suelo / cobertura vegetal y las características edáficas superficiales en donde recae la lluvia para generar las variables hidrológicas.

La información edáfica por utilizar debe estar estructurada a partir de cuatro categorías texturales o de permeabilidad, denominadas Grupos Hidrológicos (GH) (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; Chow et al., 1994; López Cadena de Llano, 1994; Neilsen y Hjelmfelt, 1998; Gaspari et al., 2009, 2019; Mishra y Singh, 2013; Montealegre medina, y Gaspari, 2021). De esta manera se



definen cuatro grupos:

- Grupo A: Suelo con el potencial de escurrimiento mínimo. Incluye a las arenas profundas con poco limo y arcilla, así como a los loess muy permeables.
- Grupo B: Suelos en su mayor parte arenosos, menos profundos que los del grupo A, y los menos profundos y compactos que los del grupo anterior.
- Grupo C: Suelos poco profundos con abundante cantidad de arcilla y coloides.
- Grupo D: Potencial de escurrimiento máximo. Suelos con elevado contenido de arcillas, poco profundos, con sub-horizontes casi impermeables cerca de la superficie.

Dicha información referida a los GH, en formato cartográfico vectorial del área en estudio, es un dato de entrada al GeoQ, que debe estar codificada en una columna de su tabla de atributos, cuya denominación es **Cod_Sue**, según la numeración que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Códigos referidos a la información de suelos según GH.

GH	Textura	Cod_Sue
A	Arenoso	1
	Arenoso franco	
	Franco arenoso	
B	Franco arenoso	2
	Franco	
	Limoso	
C	Franco arcillo arenoso	3
	Franco arcillo limoso	
	Franco arcilloso	
D	Arcillo arenoso	4
	Arcillo limoso	
	Arcilloso	

Fuente: Gaspari et al. (2009).

También se necesita la información con la zonificación del uso del suelo en el área en estudio, es decir la vegetación / cobertura vegetal que sustentan, incluyendo el tratamiento cultural que reciben (Gaspari y Senisterra, 2006), que es un dato básico para establecer el NC para la modelación geoespacial.

Para ello se debe disponer de una capa de información vectorial que describa la vegetación y/o uso del suelo, la cual se debe estar codificada en una columna de su tabla de atributos, cuya denominación es **Cod_Veg**, según la Tabla 2. Esta codificación fue adaptada para el GeoQ según cartografía antecedente de Cobertura del Suelo de la República Argentina (Volante, 2006), Proyecto PNECO 1643 (INTA, 2009) y de las clases de uso definidas de Vegetación y/o uso del suelo según clasificación Mintegui Aguirre y López Unzú (1990).



Tabla 2. Códigos de vegetación y/o uso del suelo asignados a la capa de vegetación (Cod_Veg)

Cod_Veg	Cobertura del Suelo de la República Argentina. Proyecto PNECO 1643. Año 2006-2007 (2009)	Vegetación y/o uso del suelo según clasificación Mintegui Aguirre y López Unzu (1990)
10	Áreas naturales desnudas consolidadas	Barbecho
20	Herbáceas cerradas en áreas regularmente inundadas/anegadas o acuáticas	Cultivos alineados R P
30	Cultivos de herbáceas graminoides	Cultivos alineados R B
40		Cultivos alineados C P
50		Cultivos alineados C B
60		Cultivos alineados C-T P
70		Cultivos alineados C-T B
80		Cultivos no alineados o surcos pequeños R P
90	Cultivos de herbáceas (no determinado)	Cultivos no alineados o surcos pequeños R B
100		Cultivos no alineados o surcos pequeños C P
110		Cultivos no alineados o surcos pequeños C B
120		Cultivos no alineados o surcos pequeños C-T P
130		Cultivos no alineados o surcos pequeños C-T B
140		Cultivos densos leguminosas R P
150	Cultivos de herbáceas no graminoides	Cultivos densos leguminosas R B
160		Cultivos densos leguminosas C P
170		Cultivos densos leguminosas C B
180		Cultivos densos leguminosas C-T P
190		Cultivos densos leguminosas C-T B
200		Matorral, mezcla matorral y maleza Cubierta 50%
210		Matorral, mezcla matorral y maleza Cubierta 50-75%
220		Matorral, mezcla matorral y maleza Cubierta >75%



Cod_Veg	Cobertura del Suelo de la República Argentina. Proyecto PNECO 1643. Año 2006-2007 (2009)	Vegetación y/o uso del suelo según clasificación Mintegui Aguirre y López Unzu (1990)
230	Arbustal abierto	Montes con pastos P
240	Arbustal disperso	Montes con pastos R
250	Arbustal cerrado	Montes con pastos B
260	Bosques abiertos en áreas regularmente inundadas/anegadas o acuáticas	Bosques MP
270	Bosques abiertos	Bosques P
280	Bosques abiertos, con arbustos	Bosques R
290	Bosques cerrados en áreas regularmente inundadas/anegadas o acuáticas	Bosques B
300	Bosques cerrados	Bosques MB
310	Áreas terrestres cultivadas y/o manejadas	Prados permanentes
320	Pastizal abierto (herbáceas graminoides)	Pastizal P
330	Pastizal disperso	Pastizal R
340	Pastizal cerrado (herbáceas graminoides)	Pastizal B
350		Pastizal C P
360		Pastizal C R
370		Pastizal C B
380	Áreas urbanas de baja densidad	Residencial baja densidad
390	Áreas urbanas densamente pobladas	Residencial alta densidad
400	Rocas, fragmentos	Superficies impermeables
410	Cuerpos de agua en movimiento - cañadas	Espejos de agua - humedales
	Cuerpos de agua estacionario - bañado	
	Nieve o hielo	
420	Árboles dispersos en áreas regularmente inundadas/anegadas o acuáticas	
430	Arbustal cerrado a abierto en áreas regularmente inundadas/anegadas o acuáticas	
440	Áreas urbanas de densidad media	
450	Áreas urbanas dispersas - semiurbanas	
460	Áreas urbanas vegetadas	
470	Cultivos de arbustos bajo riego	
480	Cultivos de arbustos en seco	
490	Cultivos de especies arbóreas (no determinado)	
500	Cultivos de especies arbóreas bajo riego	
510	Cultivos de especies arbóreas en seco	
520	Dunas / desiertos naturales	
530	Salares (GH D - áreas/rocas impermeables)	
540	Salinas (GH D - áreas/rocas impermeables)	
550	Suelos pedregosos	
560	Superficies artificiales y áreas asociadas. Superficies construidas (no determinado) - Distritos urbanos comerciales	
570	Superficies no construidas	
580	Vegas de ríos en condiciones óptimas	

Referencias: R Laboreo sin prácticas de conservación; C Curvas de nivel; C-T Curvas de nivel y Terrazas abiertas; MP Condición de infiltración muy pobre; P Condición de infiltración pobre; M Condición de infiltración mala; B Condición de infiltración buena; MB Condición de infiltración muy buena.



Conocido el GH y de la cobertura vegetal que le corresponde al terreno en estudio, se debe tener en cuenta la condición de humedad antecedente en el suelo (CHA), es decir el estado de humedad del suelo previo a la precipitación. La misma se define por tres condiciones básicas, considerando el contenido de humedad del suelo, determinadas en base a una lluvia dentro de los 5 a 10 días previos, denominada seca (I) si es menor a 12,5 mm, media (II) si la precipitación fue entre 12,7 – 38,1mm y húmeda (III), con valores mayores a 38,1 mm (Tabla 3) (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; Chow et al., 1994; López Cadena de Llano, 1994; Gaspari et al., 2009, 2013). Los valores de NC pueden variar según CHA, como se muestra en el Anexo Tabla A (Gaspari et al., 2013).

Tabla 3. CHA en función de la precipitación.

CHA	Estado de humedad antecedente del suelo	Lluvia antecedente (mm) dentro de los 5 a 10 días previos
I	Suelo seco	0 – 12,7
II	Suelo medio	12,7 – 38,1
III	Suelo húmedo / saturado	> 38,1

El geoproceto automático de GeoQ para la modelización, concatena los valores de GH (Cod_Sue) con vegetación y/o uso del suelo (Cod_Veg), cuyo resultado es un código el cual asigna el valor de NC (Cod_NC), que se resuelve como la sumatoria de ambos códigos, aplicando las Ecuaciones 1 a 5 para generar como último resultado el valor de los CE, CF y Clo, con un mapa (archivo GeoQ.shp) integrado en una tabla de atributos descriptiva y de consulta. El NC se obtiene en forma automática expresando los valores de la Tabla B del Anexo para las tres CHA, adaptado para el GeoQ según el Cod_NC. Estos datos fueron definidos según las tablas del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (Mockus, 1972).

Un ejemplo de codificación y respuesta del procesamiento del GeoQ para definir NC en forma automática, para un caso de una parcela con uso del suelo en barbecho, según los diferentes GH, para la CHA II, se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Ejemplo de construcción de las tablas de consulta, CHA II.

GH	Cod_Sue	Vegetación y/o Uso del Suelo	Cod_Veg	Cod_NC	NC
A	1	Barbecho	10	11	77
B	2	Barbecho	10	12	86
C	3	Barbecho	10	13	91
D	4	Barbecho	10	14	94



Descripción general del modelo.

El GeoQ procesa dos archivos en formato vectorial, donde se expresa la zonificación edáfica con GH y la distribución de la vegetación y uso del suelo, agregando una columna descriptiva, con el códigos correspondiente, en cada archivo, con ayuda de las Tablas 1 y 2.

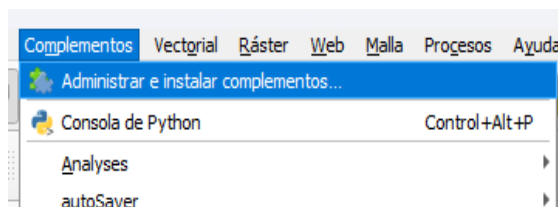
Para la modelización hidrológica es necesario disponer de una precipitación / tormenta / evento pluvial (mm total) predefinido para el área de estudio, el cual deberá estar disponible en formato numérico o como raster.

El procesamiento con todos estos datos de entrada con el GeoQ aporta como resultado una capa en formato vectorial con una tabla de atributos que integra la información resultante de Q, F e Io, sus coeficientes porcentuales, y los mapas respectivos.

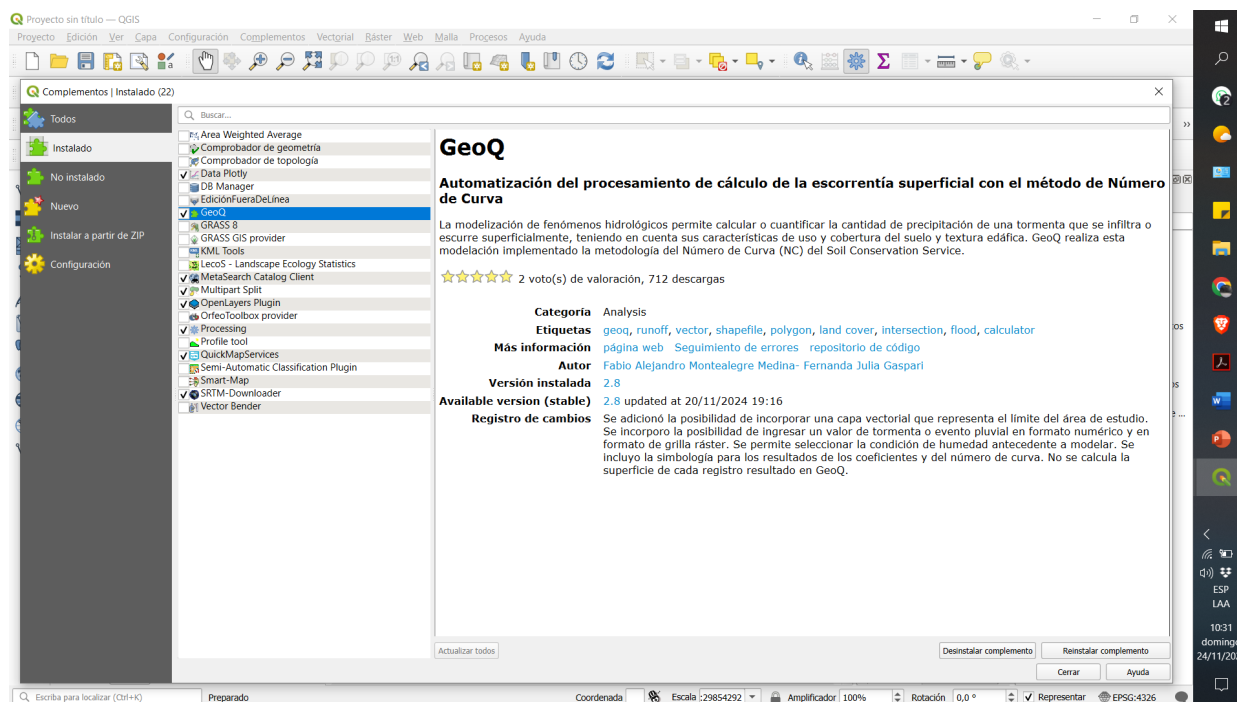
Procedimiento

El complemento GeoQ Versión 2.8, actualizado en 2024, se encuentra en el repositorio de Complementos de QGIS. El GeoQ se presenta como un complemento para la automatización del procesamiento de cálculo de la escorrentía superficial con el método de Número de Curva, indicando que la modelización de fenómenos hidrológicos permite calcular o cuantificar la cantidad de precipitación de una tormenta que se infiltra o escurre superficialmente, teniendo en cuenta sus características de uso y cobertura del suelo y textura edáfica. GeoQ realiza esta modelación implementado la metodología del Número de Curva (NC) del Soil Conservation Service.


GeoQ se puede instalar desde la Barra de Complementos – , desde el ítem Administrar e instalar complementos, como se expresa a continuación:

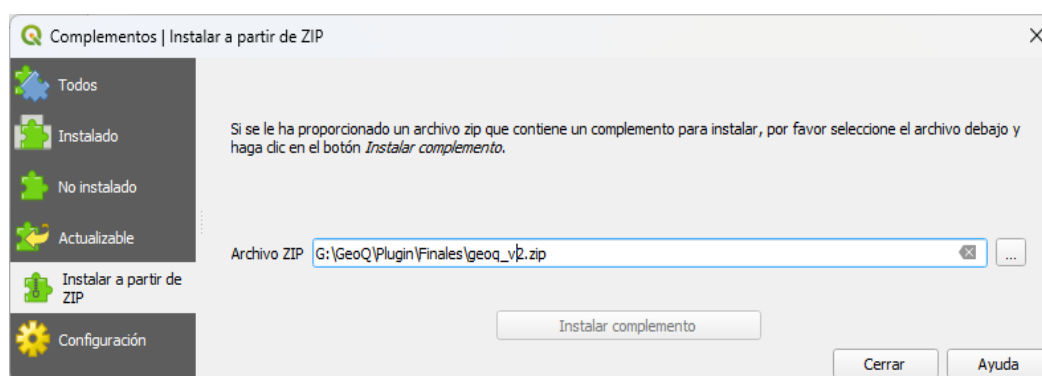



Luego seleccionar el complemento GeoQ y proceder a la instalación del complemento.

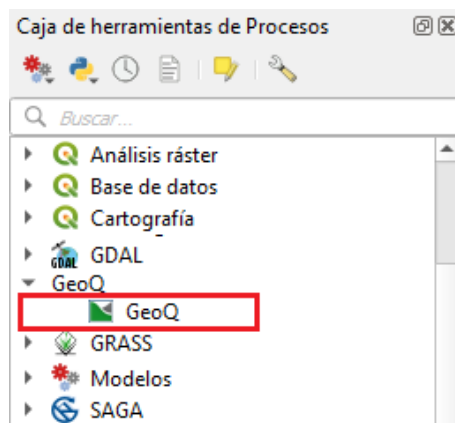


El complemento también se encuentra en el repositorio oficial de complementos de QGIS <https://github.com/fabalmon/GeoQ.git>. La herramienta está disponible en este repositorio en formato zip. En la opción **“Code”** en la esquina superior derecha del repositorio, debe seleccionar **“Download ZIP”** para así obtener el archivo ZIP del complemento a subir a QGIS. Posteriormente, subir manualmente al programa el archivo Zip e instalar desde este tipo de archivo, en el software geográfico QGIS (en versiones 3.18 en adelante) e instale el complemento

denominado GeoQ, en la barra de herramientas Administrar e instalar complementos  por medio de la opción **“Instalar a partir de ZIP”**, allí se debe seleccionar el archivo ZIP descargado de la página GitHub y oprimir **“Instalar complemento”**.



Hecho lo anterior, el complemento quedará instalado y estará ubicado en la Caja de herramientas de Proceso con el nombre de GeoQ, como se ilustra a continuación. Al aparecer el icono  está instalado el GeoQ en su computadora.



El modelo requiere de tres archivos vectoriales e insumos que expresan el evento pluvial a modelizar, ya estén precargados en el panel de capas del proyecto de QGIS o localizados en el equipo de cómputo, los cuales deben estar previamente adaptados con el formato que se indica a continuación.

Confección de Archivos de entrada

Límite del área de estudio o cuenca hidrográfica

En primera instancia se requiere el límite de la zona de estudio el cual debe ser de tipo vectorial, georreferenciado, ya sea en coordenadas planas o geográficas, debido a que el modelo tendrá en cuenta este sistema de coordenadas para la generación del resultado final. El área de estudio puede ser un vector que represente una cuenca hidrográfica, una parcela o un polígono que lo represente.

Nota importante: Tener en cuenta que el sistema de coordenadas del límite del área de estudio será el sistema de coordenadas que tendrán los mapas que expresen los resultados, debido a que el complemento reproyecta todas las otras capas de entrada, al mismo sistema de coordenadas del límite del área de estudio.

Datos de precipitación

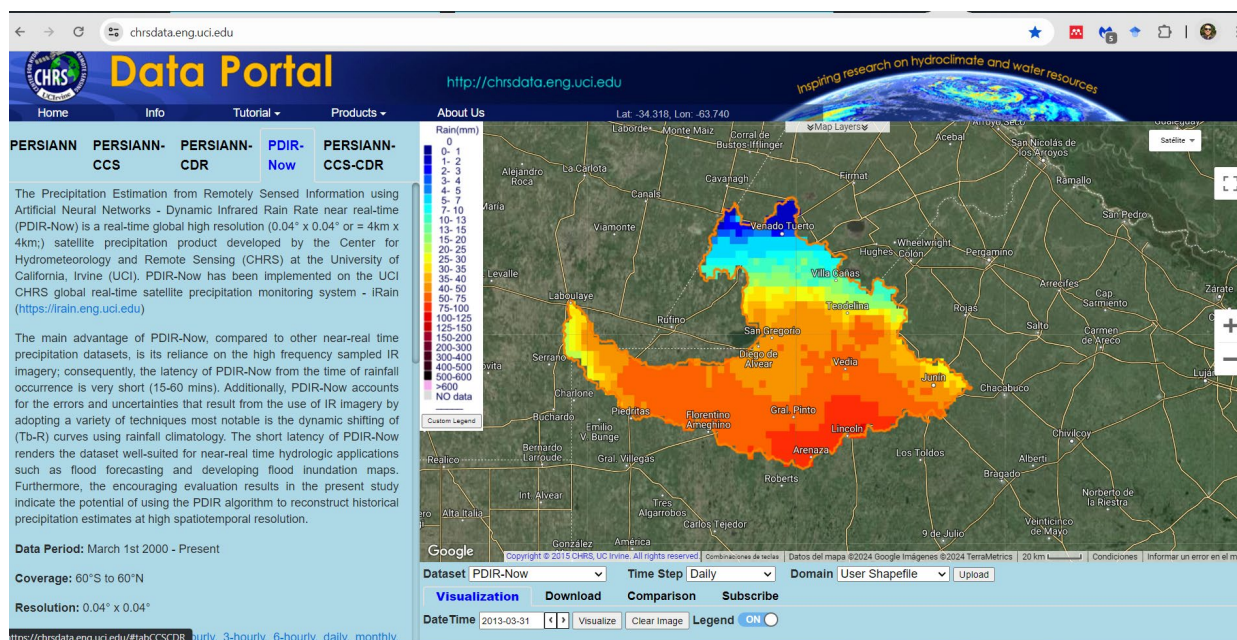
El evento pluvial por modelar se puede ingresar como un valor numérico real, de una tormenta representativa del área de estudio, cuya unidad de medida es milímetros.

Otra opción es ingresar un archivo ráster que contenga valores de precipitación en sus píxeles. Esta imagen de precipitación para una fecha determinada refleja un único evento de precipitación.

Existen varias opciones para la obtención de dicho mapa en diferentes portales web, siendo la aconsejada, por ejemplo, la desarrollada por el Centro de Hidrometeorología y Teledetección (CHRS, <https://chrs.web.uci.edu>) de la Universidad de California, Irvine, Estados Unidos. El CHRS Data Portal muestra un archivo de datos e información de precipitación satelital global producido por los sistemas PERSIANN, PERSIANN-CCS y PERSIANN-CDR. Para proceder a identificar el evento para modelar, se recomienda seleccionar la opción *Estimación de*



precipitación a partir de información detectada remotamente utilizando redes neuronales artificiales: tasa de lluvia infrarroja dinámica casi en tiempo real (PDIR-Now). En este portal también está disponible un tutorial para facilitar la descarga de las imágenes.



Archivo vectorial de GH de suelos

La capa de suelos esta referida a la información textural por grupos hidrológicos (GH) para el área de estudio. Los códigos asignados a cada GH de la capa, en su respectiva tabla de atributos, se deben incorporar por medio de una columna nueva al archivo, denominada “Cod_Sue” en formato número entero, e incluir los códigos de cada GH como se expresan en la Tabla 1.

Nota: Para los archivos vectoriales necesarios para la modelación hidrológica con GeoQ, se recomienda tener corregida la geometría a utilizar, los registros o polígonos en partes simples y con topología revisada.

Por ejemplo, se muestra en la Figura 1 el mapa de GH de la cuenca A1 del Rio Salado, provincia de Buenos Aires, Argentina.

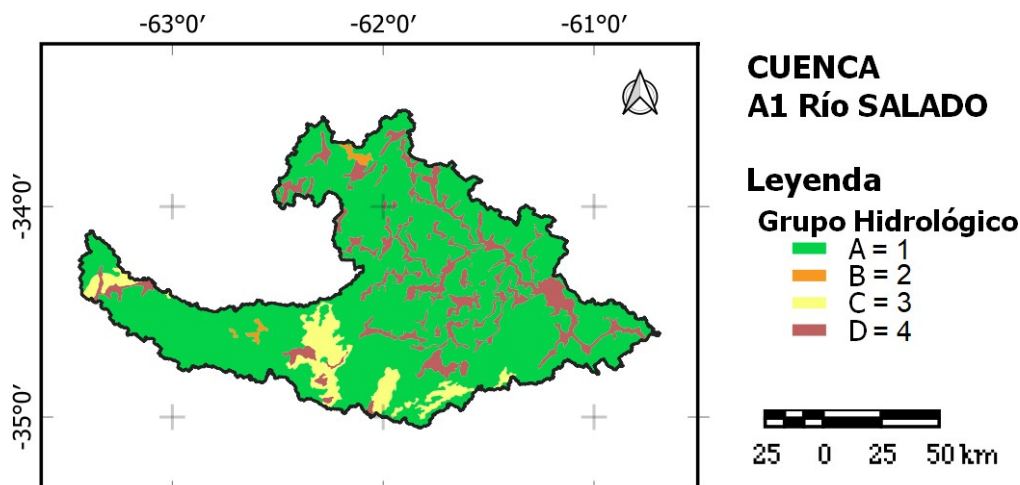


Figura 1. Ejemplo mapa de GH para la cuenca A1.

Archivo vectorial de Cobertura vegetal y uso del suelo

Los registros de la capa de vegetación y/o uso del suelo debe estar codificado según las categorías estandarizadas expresadas en la Tabla 2, por medio de una columna denominada “**Cod_Veg**” la cual consignara los códigos correspondientes a cada cobertura vegetal. Se ejemplifica en la Figura 2 con el código de cobertura del suelo de la cuenca A1 del Río Salado.

Nota: Para los archivos vectoriales necesarios para la modelación hidrológica con GeoQ, se recomienda tener corregida la geometría a utilizar, los registros o polígonos en partes simples y con topología revisada.

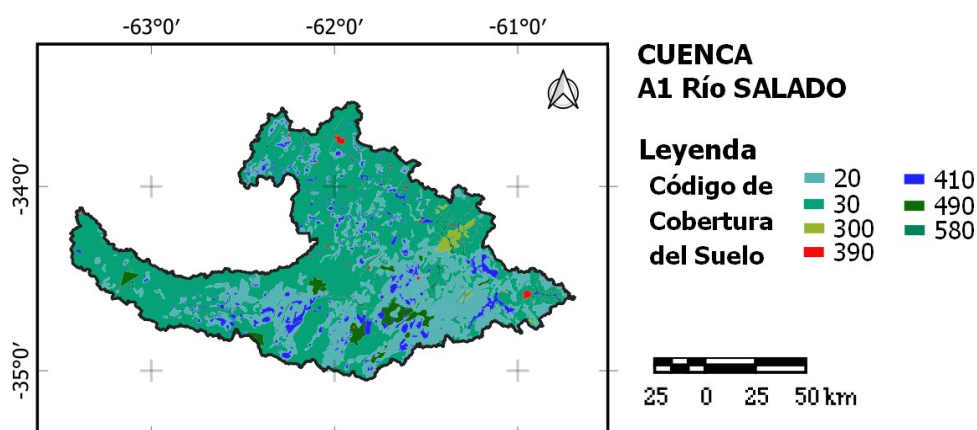


Figura 2. Ejemplo de mapa códigos de cobertura del suelo para la cuenca A1.

Condición de Humedad Antecedente

El modelo GeoQ tiene integradas las tablas de valores de numero de curva según la CHA, cuya condición se debe seleccionar según el requerimiento del usuario, por medio de una lista desplegable en la interfaz del complemento.



Ejecución del Modelo.

En el panel de *Caja de herramientas de Procesos* ejecutar el complemento **GeoQ**. Al desplegarse la herramienta se deben ingresar los datos de entrada, como insumos estandarizados previamente.

Datos de entrada estandarizados para GeoQ

1. Limite área de estudio
2. Precipitación (mm)
 - 2.1. Precipitación numérica (mm)
 - 2.2. Precipitación raster (mm)
3. Grupo hidrológico de suelo (Cod_Sue)
4. Cobertura vegetal y uso del suelo (Cod_Veg)
5. Condición de Humedad Antecedente (CHA)

A continuación, se muestra la pantalla del GeoQ y se presentan los pasos a seguir en la Figura 3.

- [1] Ingresar el shape del limite del área de estudio.
- [2] Colocar un valor de precipitación (mm), el cual se utilizará para el cálculo de las variables hidrológicas. Menciona que es *opcional* porque puede escoger en incorporar un valor numérico del evento o un archivo raster con la distribución de la tormenta.
- [3] Seleccionar el archivo vectorial correspondiente a GH codificado. Se puede seleccionar de la lista desplegable, si la capa está cargada previamente en el proyecto de QGIS, o se puede buscar la ruta del archivo en el equipo de cómputo.
- [4] Seleccionar el archivo correspondiente a vegetación y/o uso del suelo codificada. Se puede seleccionar de la lista desplegable, si la capa está cargada previamente en el proyecto de QGIS, o se puede buscar la ruta del archivo en el equipo de cómputo.
- [5] Seleccionar la tabla de consulta de CHA, según los requerimientos del usuario, por medio de la lista desplegable.
- [6] GeoQ, es el nombre del resultado final del modelo por defecto. Es posible dejar esta casilla por defecto, de ser así, se creará una capa shape temporal con los resultados del modelo junto con el cruce de los atributos de suelos y vegetación, para la tormenta modelada (se guarda en una carpeta por defecto de QGIS donde se almacenan resultados de los modelos C:\User\AppData\Roaming\QGIS\QGIS3\profiles\default\processing\outputs). De lo contrario, se puede guardar el archivo en el equipo de cómputo seleccionando la ruta de destino y asignándole un nombre al archivo.



[7] Corresponde al mapa de NC, el cual se cargará al proyecto. Se puede dejar el nombre de archivo que aparece por defecto (se guardara en la ruta mencionada en el punto anterior) o guardar este resultado como archivo en el equipo de cómputo con el nombre correspondiente al NC, para su identificación.

[8] Corresponde al mapa de CE, que se cargará al proyecto con su respectiva simbología. Se puede dejar el nombre de archivo que aparece por defecto (se guardara en la ruta mencionada en el punto anterior) o guardar este resultado como archivo en el equipo de cómputo con el nombre correspondiente al CE.

[9] Corresponde al mapa de CF. Seguir los pasos de [8] y nombrar el archivo CF.

[10] Corresponde al mapa de Cio. Seguir los pasos de [8] y nombrar el archivo Cio.

Una vez completada la pantalla de la Figura 3, ejecutar el modelo.

The screenshot shows the 'GeoQ V2' window with the 'Parámetros' tab selected. The interface includes the following elements:

- Limite área de estudio**: A dropdown menu with a browse button (labeled [1]).
- Precipitación numérica (mm) [opcional]**: A dropdown menu with 'No establecido' selected (labeled [2]).
- Precipitación raster (mm) [opcional]**: A dropdown menu with a browse button (labeled [3]).
- Grupo hidrológico de suelos**: A dropdown menu with a browse button (labeled [4]).
- Cobertura vegetal y uso del suelo**: A dropdown menu with a browse button (labeled [5]).
- Condición de Humedad Antecedente CHA**: A dropdown menu (labeled [6]).
- GeoQ**: A section containing:
 - GeoQ.shp**: A file input field with a browse button (labeled [7]).
 - ☒ **Abrir el archivo de salida después de ejecutar el algoritmo**
- Número de Curva**: A file input field with a browse button (labeled [8]).
- ☒ **Abrir el archivo de salida después de ejecutar el algoritmo**
- Coefficiente de Escurrimiento CE (%)**: A file input field with a browse button (labeled [9]).
- ☒ **Abrir el archivo de salida después de ejecutar el algoritmo**
- Coefficiente de Infiltración CF (%)**: A file input field with a browse button (labeled [10]).
- ☒ **Abrir el archivo de salida después de ejecutar el algoritmo**
- Coefficiente de Abstracciones Iniciales Cio (%)**: A file input field with a browse button.
- ☒ **Abrir el archivo de salida después de ejecutar el algoritmo**

At the bottom, there is a progress bar showing 0%, a 'Cancelar' button, and a section with 'Avanzado' (dropdown), 'Ejecutar como proceso por lotes...', 'Ejecutar', and 'Cerrar' buttons.

Figura 3. Ejecución del modelo GeoQ.



Resultados de la modelización

Una vez se ejecutado el modelo GeoQ siguiendo los pasos de la Figura 3, las capas resultado se cargarán automáticamente en el proyecto de QGis en el que se está trabajando. Estas nuevas capas shp son:

- √ GeoQ
- √ Numero de Curva (NC)
- √ Coeficiente de Escorrimento (CE) (%)
- √ Coeficiente de Infiltración (CF) (%)
- √ Coeficiente de Abstracciones (Cl₀) (%)

Nota: Durante la corrida del modelo pueden surgir advertencias en color rojo (Warning) que no inciden en los resultados logrados. Esta advertencia se debe a que se inserta una geometría de tipo POLYGON en la capa INPUT de tipo MULTIPOLYGON, lo que normalmente no está permitido por la especificación GeoPackage del QGis, pero el controlador lo hará. Para crear un GeoPackage conforme, si se utiliza ogr2ogr, se puede utilizar la opción -nlt para anular el tipo de geometría de la capa. Esta advertencia ya no se emitirá para esta combinación de capa y tipo de geometría de entidad.

Nota: Recordar, una vez finalizada la ejecución del complemento y se tienen desplegados los resultados por defecto GeoQ, NC, CE, CF, Cl₀, como capas nuevas, ya sea en el mismo proyecto que se está trabajando con el GeoQ como en otro proyecto, no se puede ejecutar nuevamente hasta cerrar las capas generadas abiertas, debido a que el complemento no sobrescribe los resultados si esto ocurre, por lo cual es aconsejable cerrar las capas resultado de una ejecución anterior en el proyecto de QGis, o guardar en un directorio diferente los resultados.

Obtención de resultados.

El modelo arroja un resultado general, en una capa shp denominada GeoQ (Figura 4), donde sus datos y atributos son el producto del proceso de análisis de la metodología de NC y geoprocesos de los insumos de entrada. Esta capa no posee ninguna simbología.

Dentro de los atributos de *GeoQ.shp* se encuentran una columna con el valor de número de curva (NC) y los valores de retención potencial máxima (S), Abstracciones iniciales (I₀), escurrimiento (Q), infiltración (F), en milímetros, y los coeficientes porcentuales de Cl₀, CE, CF.

Todos ellos pueden ser representados cartográficamente si así se requiere.

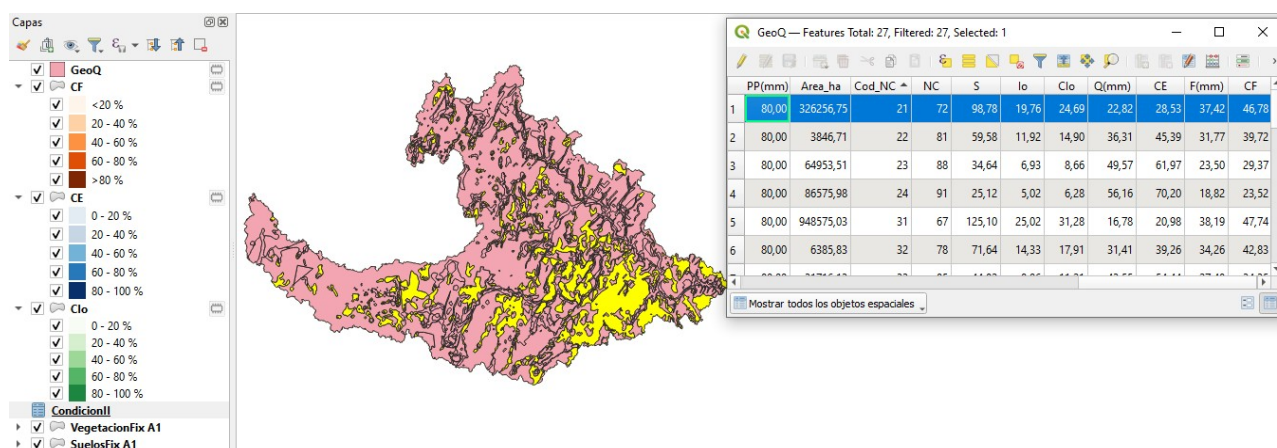


Figura 4. Resultados del modelo GeoQ.

De igual forma, el modelo genera automáticamente 4 capas adicionales, las cuales corresponden a la zonificación del número de curva (NC) y de los coeficientes (%) CE, CF, Cl_0 ; cada una con sus respectivos valores y su simbología.

En la Figura 5, se exponen dichos resultados, para una CHA II, para la cuenda A1 del Río Salado.

Nota: Si estos resultados son creados como capas temporales, se desplegarán en el proyecto con un nombre indistinto. Por tal razón se aconseja guardarlas en el equipo con el nombre recomendado. Colocar la ruta por defecto de Qgis y los nombres de los archivos

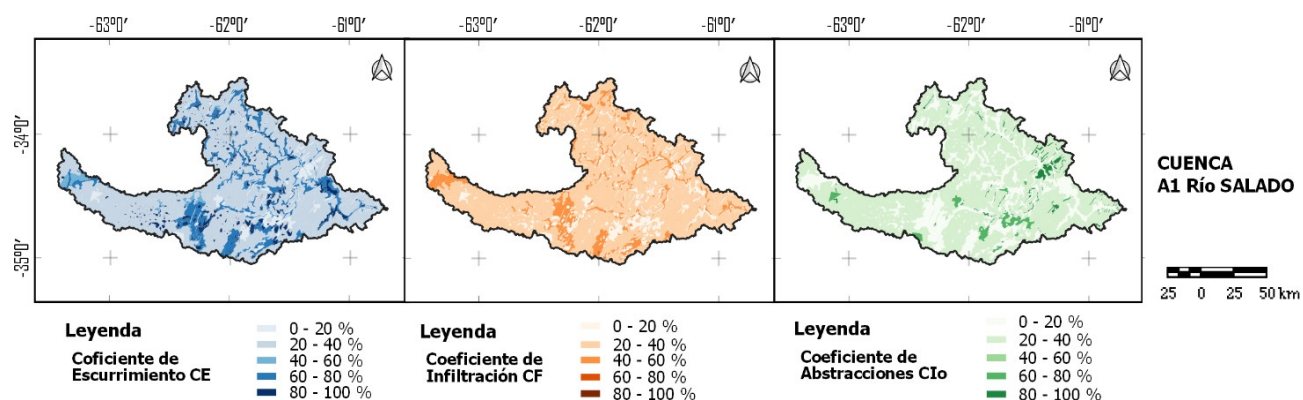


Figura 5. Coeficientes de Escorrimento (Izquierda), Infiltración (Centro) y Abstracciones iniciales (Derecha).

La sistematización de procesos geoespaciales del **GeoQ**, permite agilizar y estandarizar procesos, manipular y analizar información vectorial, generando la zonificación de componentes hidrológicos, como apoyo SIG en proyectos de planificación territorial.

La utilización de esta herramienta proporciona la posibilidad de determinar, cuantificar y zonificar la escorrentía para una tormenta según CHA I, II y III sobre una cuenda hidrográfica o área de



estudio definida, como así también visualizar la zonificación de la infiltración y de las abstracciones iniciales según el NC.

Además, esta herramienta se pretende divulgar para su uso a nivel de cuencas hidrográficas bajo el software libre QGis, con el fin de que sea utilizada por la comunidad académica y de gestión de los recursos suelo-agua-vegetación, y la protección y conservación de recursos naturales, su disponibilidad y gestión ambiental.

Change log

El GeoQ en su primera versión, estuvo diseñado para evaluar la escorrentía superficial con un único valor de precipitación para toda el área de una cuenca hidrográfica.

La actualización 2024, Versión 2.8, permite modelizar hidrológicamente a partir de datos pluviales de forma heterogénea por medio de imágenes satelitales de precipitación o por la incorporación de un dato numérico del evento pluvial.

Los cambios fundamentales del complemento fueron:

- Se adicionó la posibilidad de incorporar una capa vectorial que representa el límite del área de estudio.
- Se incorporo la posibilidad de ingresar un valor de tormenta o evento pluvial en formato numérico y en formato de grilla ráster.
- Se permite seleccionar la condición de humedad antecedente a modelar.
- Se incluyo la simbología para los resultados de los coeficientes y del número de curva.
- No se calcula la superficie de cada registro resultado en GeoQ.

Por ello, esta una versión de GeoQ 2.8 © para la modelización a partir de imágenes satelitales de precipitación, brinda una mayor aproximación y distribución del fenómeno de lluvia-escorrentía en una cuenca hidrográfica / área de estudio definida.

Es importante recordar que la herramienta GeoQ actual se encuentra a disposición del público en general / usuarios SIG, en el repositorio GitHub <https://github.com/fabalmon/GeoQ.git> en donde se almacena el código del complemento, junto con la documentación necesaria para su instalación y funcionamiento, lo cual incluye un manual para este propósito. Este repositorio está abierto para realizar comentarios y sugerencias sobre la construcción del código y a su desarrollo, planteado en este trabajo.



Listado de trabajos aplicando GeoQ

Los siguientes trabajos realizados aplicando la herramienta GeoQ están disponibles en el Servicio de Difusión de la Creación Intelectual (SEDICI) que es el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de La Plata, que confirma un servicio libre y gratuito creado para albergar, preservar y dar visibilidad a las producciones de las Unidades Académicas de la Universidad (<http://sedici.unlp.edu.ar/>).

REVISTAS CIENTIFICAS

1. "GeoQ: Herramienta para la determinación del Número de Curva y escorrentía bajo entorno SIG Idrisi Andes®". Rodríguez Vagaría, A.M y F.J.Gaspari. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica. International Review of Geographical Information Science and Technology. España. GeoFocus Formato digital. N°10. 11-26. (2010) ISSN: 1578-5157. Con referato.
2. "Evaluación del efecto de la restauración agro-hidrológica mediante la aplicación del modelo hidrológico GeoQ". Rodríguez Vagaría, A.; Gaspari, F.; Senisterra, G.; Delgado, M.I. y S. Besteiro. Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA), publicación científica del INTA. Buenos Aires. Argentina. Publicado on line 02/05/2012. (2012). ISSN en Línea 1669-2314. ISSN Edición Impresa 0325-8718. Con referato. <http://ria.inta.gov.ar/?p=1981>
3. "GeoQ: Herramienta geoespacial para la zonificación de la escorrentía en QGis®". Montealegre Medina, F.A. y F.J. Gaspari. Revista Estudios Ambientales - Environmental Studies Journal. UNICEN. Tandil. (2021) Vol. 9 Núm. 2 <https://ojs2.fch.unicen.edu.ar/ojs-3.1.0/index.php/estudios-ambientales/article/view/1289>

CONGRESOS Y ENCUENTROS CIENTIFICOS

1. "Evaluación de variables hidrológicas aplicando un modelo automatizado con sistemas de información geográfica (GeoQ), para una cuenca de llanura bonaerense, Argentina". Fabio Alejandro Montealegre Medina y Fernanda Gaspari. III Congreso Virtual Desarrollo Sustentable y Desafíos Ambientales "El Ambiente, los problemas ambientales y la Pos-pandemia". 8 al 18 de noviembre de 2021. La Paz, Bolivia. ISBN: 978-99905-809-9-0. <http://congresos.cebem.org/>
2. "Análisis de la respuesta hidrológica de una cuenca serrana bonaerense ante diferentes eventos pluviales y cambio de uso del suelo" Botán Lucía, Delgado María I., Gaspari Fernanda J. E-ICES 17. 17° Encuentro Internacional Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional de Cuyo. 1 al 4 de noviembre de 2022. Mendoza. Argentina. <https://www.uncuyo.edu.ar/ices/e-ices-17>
3. "Estudio de la respuesta hidrológica en la cuenca alta del Arroyo Napaleofú, Provincia de Buenos Aires" Anselmino Camila B., De Antueno Lucía, Gaspari Fernanda J. E-ICES 17. 17° Encuentro Internacional Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional de Cuyo. 1 al 4 de noviembre de 2022. Mendoza. Argentina. <https://www.uncuyo.edu.ar/ices/e-ices-17>
4. "Estudio de procesos hidrológicos superficiales en áreas urbanas y rurales aplicando el modelo geoespacial GeoQ". Gaspari, F.J., Montealegre Medina, F.A., Besteiro, S.I., Velázquez M. y M. I. Delgado. XXVII edición del Congreso Nacional del Agua (CONAGUA). 28 al 30 de agosto de 2023. Buenos Aires. Argentina. <https://conagua.ina.gob.ar/archivos/Libro-resumenes-CONAGUA2023.pdf>
5. "Modelización hidrológica geoespacial con GeoQ de escenarios pluviales extremos en la cuenca alta del río Reconquista. Buenos Aires, Argentina.". Mondelo, V.; Mazzucchelli, M.G.; Jelinski, G. y F.J. Gaspari. E-ICES 18. 18° Encuentro Internacional Ciencias de la



Tierra. Universidad Nacional de Cuyo. 21 al 24 de noviembre de 2023. Mendoza. Argentina. <https://www.uncuyo.edu.ar/ices/e-ices-18>

6. "Modelización hidrológica con GeoQ de la cuenca alta del arroyo Napaleofú, provincia de Buenos Aires". Victoria Sáenz, Lucia de Antueno y Fernanda J. Gaspari. 19° Encuentro del Centro Internacional de Ciencias de la Tierra (E-ICES 19). Malargüe, Mendoza, Argentina. 28 de octubre al 1 de noviembre de 2024. <https://www.uncuyo.edu.ar/ices/e-ices19>
7. "Simulación del fenómeno Precipitación Escorrentía en una Cuenca del Sistema Serrano de Ventania". 2024. Besteiro S.I., Delgado M.I., González Fuentes E.A., Anselmino C.B., de Antueno L., Montealegre Medina F.A., Gaspari F.J., y V.E. Giovenale. 19° Encuentro del Centro Internacional de Ciencias de la Tierra (E-ICES 19). Malargüe, Mendoza, Argentina. 28 de octubre al 1 de noviembre de 2024. <https://www.uncuyo.edu.ar/ices/e-ices19>
8. Análisis Geohidrológico en la Cuenca del Arroyo Las Piedras. Ventania. Argentina. 2024. Gaspari F.J., Montealegre Medina F.A. Delgado M.I., Besteiro S.I., Gonzalez Fuentes E.A., de Antueno L., Giovenale V.E., y C.B. Anselmino. 19° Encuentro del Centro Internacional de Ciencias de la Tierra (E-ICES 19). Malargüe, Mendoza, Argentina. 28 de octubre al 1 de noviembre de 2024. <https://www.uncuyo.edu.ar/ices/e-ices19>
9. "Estimación de la respuesta hidrológica en una cuenca con invasión de *Gleditsia triacanthos* L." . Anselmino Camila Belén, Giovenale Verónica Elisabet, Galarco Sebastián Pablo, Gaspari Fernanda Julia. IV Jornadas Internacionales y VI Nacionales de Ambiente. Viedma. Río Negro. Argentina. 6, 7, y 8 de noviembre de 2024. <https://jornadasdeambiente.unrn.edu.ar/>

TESIS DE POSGRADO

1. Ing. Adriana Catalina Guzmán Guaraca. Tema: Determinación de la vulnerabilidad hídrica por el cambio de uso de suelo en cuencas serranas bonaerenses. Doctorado en la F.C.A.F. – U.N.L.P.
2. Ing. Ftal. Alfonso M. Rodríguez Vagaría. Tema: Efecto de la restauración agro-hidrológica sobre el escurrimiento superficial en la sierra de Pillahuinco. Magíster Scientiae en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. F.C.A.F. – U.N.L.P.
3. Ing. Gabriela Elba Senisterra. Tema: Influencia del cambio de uso del suelo sobre el escurrimiento superficial. Estudio de caso: Cuenca del Arroyo Napaleofú, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Magíster Scientiae en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. F.C.A.F. – U.N.L.P.

TESIS DE GRADO

1. Camila Anselmino. Tema: Transformación del territorio e influencia en los Servicios Hidrológicos Ecosistémicos en la Cuenca Alta del Arroyo Napaleofú, Tandil. Carrera de Ingeniería Forestal. F.C.A.F. – U.N.L.P.
2. Verónica Giovenale. Tema: Planteo de estrategias para la conservación de los servicios hidrológicos ambientales en Pinamar. Carrera de Ingeniería Forestal. F.C.A.F. – U.N.L.P.
3. Camila Puigdemasa. Tema: Simulación espacio-temporal de la disminución del pastizal natural frente al avance de especies exóticas y su impacto en la dinámica hídrica superficial en la cuenca del arroyo Ventana, Tornquist, prov. Buenos Aires, Argentina. Carrera de Ingeniería Forestal. F.C.A.F. – U.N.L.P.



TUTORIAL DE USO DEL GeoQ Versión 2.8:

Enlace del video de YouTube: https://youtu.be/iXmaXzW4_aQ

AGRADECIMIENTOS

La financiación de este trabajo fue desarrollada por los Proyectos del Programa de Incentivos a los Docentes e investigadores de la Secretaría de Política Universitaria, del Ministerio de Educación de la Nación de Argentina, denominados “Estudio de los servicios hidrológico-ambientales para aportar a la sustentabilidad de la Región Serrana Bonaerense”, al Proyecto I+D 2016 N° 11/A286. Período 2016-2019, y el de “Lineamiento generales para la planificación en cuencas hidrográficas preservando los servicios hidrológicos ambientales”. Proyecto I + D 2019 N° 11/A347 Período 2020-2024, ambos dirigidos por la Dra. Fernanda Gaspari.

Se reconoce el apoyo de una Beca Doctoral Científico-Tecnológica suministrada por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA), otorgada para el periodo 2018-2024.

Se agradece al Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena de las Facultades de Ciencias Agrarias y Forestales y de Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata, a todos sus investigadores, técnicos, becarios y estudiantes que nos acompañaron en el progreso y puesta en marcha del complemento GeoQ versión 2.8 (2024) ©.



Bibliografía

Aguayo, M. I., Wiegand, T., Azócar, G. D., Wiegand, K., y Vega, C. E. (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).

Chow, V. Te, Maidment, D. R., Mays, L. W., Saldarriaga, J. G., y Santos G., G. R. (1994). Hidrología Aplicada. In *Bogotá, Colombia*. McGraw-Hill.

de Antueno, L., Gaspari, F. J., y Guaraca, A. G. (2020). Análisis del efecto del cambio en el uso del suelo sobre el escurrimiento en la cuenca alta del río Sauce Chico, Argentina. *Revista Estudios Ambientales-Environmental Studies Journal*, 8(1), 20– 42.

Gaspari, F. J., Senisterra, G. E., Delgado, M. I., Rodríguez Vagaría, A. M., y Besteiro, S. (2009). *Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas* (1st ed.).

Gaspari, F. J., Díaz, A. R., Delgado, M. I., y Senisterra, G. E. (2015). Evaluación del Servicio Ambiental de provisión hídrica en cuencas hidrográficas del sudeste bonaerense . Argentina. *Rev. Fac. Agron. La Plata*, 114(1), 214–221.

Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A., Senisterra, G., Delgado, M. I., y Besteiro, S. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EdULP).

Gaspari, F., Rodríguez Vagaría, A., Montealegre Medina, F.A.. (2019). Manejo de cuencas hidrográficas. Herramientas de sistemas de información geográfica. Libro de cátedra. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. 121 p. La Plata. Argentina. ISBN: 978-950-34-1833-8. Versión digital. Disponible en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/87641>

Gaspari, F. J., Díaz Gómez, A. R., y Montealegre Medina, F. A. (2021). Variabilidad espacial del rendimiento hídrico ante el cambio de uso del suelo y escenarios pluviales en la cuenca alta del río Sauce Chico, Argentina. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, ISSN-e 2007-2422, Vol. 12, Nº. 1. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7708827&info=resumen&idioma=SPA>

Gaspari, F. J.; Delgado, M.I. y de Antueno, L. (2023). Contribuciones al Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. Herramientas y procedimientos básicos a campo y en gabinete. Libro de cátedra. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. 203 p. La Plata. Argentina.

Kent, K. M. (1973). *method for estimating volume and rate of runoff in small watersheds* (SCS-TP-149 (ed.)). USA Soil Conservation Service.

López Cadena de Llano, F. (1994). *Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión*. TRAGSA, TRAGSATEC, Mundi-Prensa.

Marek, M. A. (2011). Hydraulic Design Manual, Texas Department of Transportation (TxDOT). In *Design Division (DES), Texas, USA*.

Mintegui Aguirre, J. A., y López Unzú, F. (1990). La ordenación agrohidrológica en la planificación. In Departamento de Agricultura y Pesca (Ed.), *Servicio central de publicaciones del Gobierno Vasco*.

Mishra, S. K., y Singh, V. P. (2013). *Soil conservation service curve number (SCS-CN) methodology* (Vol. 42). Springer Science y Business Media.



Mockus, V. (1972). Section 4. Hidrology. In Soil Conservation Service SCS (Ed.), *National Engineering Handbook* (p. 127). US Department of Agriculture, Washington.

Montealegre Medina, F.A.; Gaspari, F.J. (2021). GeoQ: Herramienta geoespacial para la zonificación de la esorrentía en QGis®. *Revista Estudios Ambientales*, 9(2), 170-192.

Neilsen, R. D., y Hjelmfelt, A. T. (1998). Hydrologic soil group assignment. *Proceedings of Water Resources Engineering*, 1297–1302.

Rodríguez Vagaría, A. M., Gaspari, F. J., y Kruse, E. E. (2014). Simulación espacio- temporal del escurrimiento por la interacción entre los cambios del uso del suelo y evolución pluvial. *Revista de Tecnología. Journal of Technology*, 13, 38 – 48.
<http://revistas.unbosque.edu.co/RevTec/article/view/1839>

Sandoval, V., y Oyarzun, V. (2004). Modelamiento y prognosis espacial del cambio en el uso del suelo. *Quebracho-Revista de Ciencias Forestales*, 11, 9–21.



ANEXO

Tabla A. Tabla de conversión de NC según CHA.

II	I	III
100	100	100
95	87	99
90	78	98
85	70	97
80	63	94
75	57	91
70	51	87
65	45	83
60	40	79
55	35	75
50	31	70
45	27	65
40	23	60
35	19	55
30	15	50
25	12	45
20	9	39
15	7	33
10	4	26
5	2	17
0	0	0



Tabla B. Valores de **Cod_NC** a partir de la sumatoria de **Cod_Sue** con **Cod_Veg** según CHA (Adaptación).

Cod_	I	II	III	Cod_	I	II	III	Cod_	I	II	III	Cod_	I	II	III
11	58	77	89	12	72	86	93	13	81	91	96	14	87	94	97
21	52	72	86	22	64	81	91	23	75	88	94	24	81	91	96
31	46	67	82	32	60	78	89	33	70	85	93	34	77	89	95
41	49	70	84	42	61	79	90	43	69	84	92	44	75	88	94
51	44	65	81	52	56	75	87	53	66	82	91	54	72	86	93
61	45	66	82	62	54	74	87	63	63	80	90	64	66	82	91
71	41	62	79	72	51	71	85	73	60	78	89	74	64	81	91
81	44	65	81	82	57	76	88	83	69	84	92	84	75	88	94
91	42	63	80	92	56	75	87	93	67	83	92	94	74	87	94
101	42	63	80	102	54	74	87	103	66	82	91	104	70	85	93
111	40	61	78	112	53	73	86	113	64	81	91	114	69	84	92
121	40	61	78	122	52	72	86	123	61	79	90	124	66	82	91
131	38	59	77	132	49	70	84	133	60	78	89	134	64	81	91
141	45	66	82	142	58	77	89	143	69	84	92	144	75	88	94
151	37	58	76	152	52	72	86	153	64	81	91	154	70	85	93
161	43	64	80	162	56	75	87	163	67	83	92	164	70	85	93
171	34	55	74	172	48	69	84	173	60	78	89	174	67	83	92
181	42	63	80	182	53	73	86	183	63	80	90	184	67	83	92
191	30	51	71	192	46	67	82	193	57	76	88	194	63	80	90
201	28	48	68	202	46	67	82	203	58	77	89	204	67	83	92
211	18	35	55	212	35	56	75	213	49	70	84	214	58	77	89
221	15	30	50	222	28	48	68	223	44	65	81	224	53	73	86



231	26	45	65	232	45	66	82	233	58	77	89	234	67	83	92
241	19	36	56	242	39	60	78	243	53	73	86	244	61	79	90
251	12	25	43	252	34	55	74	253	49	70	84	254	58	77	89
261	35	56	75	262	56	75	87	263	72	86	93	264	81	91	96
271	26	46	66	272	47	68	83	273	60	78	89	274	69	84	92
281	19	36	56	282	39	60	78	283	49	70	84	284	57	76	88
291	13	26	45	292	31	52	71	293	42	63	80	294	48	69	84
301	7	15	29	302	25	44	64	303	33	54	73	304	40	61	78
311	15	30	50	312	37	58	76	313	51	71	85	314	60	78	89
321	47	68	83	322	61	79	90	323	72	86	93	324	77	89	95
331	29	49	69	332	48	69	84	333	61	79	90	334	69	84	92
341	21	39	60	342	40	61	78	343	54	74	87	344	63	80	90
351	27	47	67	352	46	67	82	353	64	81	91	354	75	88	94
361	12	25	43	362	38	59	77	363	56	75	87	364	67	83	92
371	3	6	13	372	18	35	55	373	49	70	84	374	61	79	90
381	33	54	73	382	49	70	84	383	63	80	90	384	70	85	93
391	58	77	89	392	70	85	93	393	79	90	95	394	83	92	96
401	95	98	99	402	95	98	99	403	95	98	99	404	95	98	99
411	100	100	100	412	100	100	100	413	100	100	100	414	100	100	100
421	27	47	67	422	45	66	82	423	58	77	89	424	67	83	92
431	37	57	73	432	52	72	86	433	66	82	91	434	72	86	93
441	40	61	78	442	56	75	87	443	67	83	91	444	74	77	84
451	37	57	73	452	52	72	86	453	64	81	91	454	72	86	93
461	30	51	71	462	47	68	83	463	63	79	90	464	69	84	92



471	20	37	57	472	39	60	78	473	53	73	86	474	61	79	90
481	22	42	61	482	40	62	78	483	57	75	91	484	64	81	91
491	29	49	69	492	45	65	83	493	56	75	87	494	61	79	90
501	18	35	55	502	38	59	77	503	52	72	86	504	61	79	90
511	29	49	69	512	47	68	83	513	60	78	89	514	69	84	92
521	42	63	80	522	58	77	89	523	70	85	93	524	75	88	94
531	65	83	95	532	84	93	97	533	84	93	97	534	84	93	97
541	65	83	95	542	84	93	97	543	84	93	97	544	84	93	97
551	80	91	96	552	80	91	96	553	81	91	96	554	64	81	91
561	77	89	97	562	82	92	98	563	88	94	98	564	87	95	99
571	29	49	69	572	48	69	84	573	61	79	90	574	69	84	92
581	15	30	50	582	37	58	76	583	51	71	85	584	60	78	89