

Actualización del mapa de CN (número de curva) del Gran Mendoza

Victor H. Burgos¹, Lucas Martínez¹ y Ana Paula Salcedo¹

¹ Instituto Nacional del Agua – Centro Regional Andino

E-mail: vburgos@ina.gov.ar

RESUMEN:

En el marco de una evaluación de amenazas hídricas al oeste del Gran Mendoza, se propone actualizar la variable de número de curva (CN) para la modelación hidrológica a realizar. Aun con sus limitaciones e incertidumbres, el método del CN sigue siendo muy utilizado en hidrología operacional o en diseño hidrológico para determinar escorrentía directa producto de un evento de precipitación.

El área de estudio se ubica en la provincia de Mendoza, Argentina, en la zona pedemontana comprendida entre los 32° 30' y 33° 15' de latitud S y 68° 15' y 69° 30' de longitud O. Abarca parte de los departamentos de Las Heras, Ciudad de Mendoza, Godoy Cruz y Luján de Cuyo. Se extiende desde los 3.455 msnm hasta los 730 msnm y posee una superficie total de 1243 km².

Con técnicas de teledetección, geoprocursos en un Sistema de Información Geográfica (SIG), tablas de reclasificación de doble entrada y un modelo digital de elevaciones (MDE), se procesó la información antecedente y se actualizó el mapa de CN, que fue ajustado finalmente con el mapa de pendientes. Se destaca el uso de un índice NDXI para la clasificación de cobertura vegetal y usos del suelo mediante procesamiento de imágenes Landsat 8, y el empleo de un MDE de tipo interferométrico de 10 m de resolución espacial (TanDEM-X).

Se analizaron los cambios detectados respecto del mapa de CN del año 2008 indicando un aumento de los valores medios ponderados por área, del orden del 3 % a nivel medio y por cuencas, con diferencias de los máximos de hasta un 22%, interpretándose que es producto de acciones antrópicas, como la impermeabilización por consolidación de caminos de tierra, la deforestación o tala de vegetación natural y en especial por el avance urbano no planificado hacia el piedemonte.

PALABRAS CLAVE: TanDEM-X, NDXI, CN ajustado por pendientes.

INTRODUCCIÓN

El avance urbano hacia el piedemonte junto a otros cambios de uso de suelo como deforestación por tala indiscriminada de vegetación natural o consolidación de caminos, generan impactos reflejados en un aumento de caudales de crecidas aluvionales, producto de las típicas tormentas convectivas intensas y de corta duración que acontecen en la zona de estudio.

La urbanización es uno de los procesos que afecta de manera más significativa las condiciones naturales de una cuenca y su ciclo hidrológico, alterando los hábitat naturales, impermeabilizando y compactando el suelo, modificando las vías naturales de drenaje y aumentando la contaminación de los recursos de agua. La concentración urbana y su crecimiento acelerado durante los últimos años, han puesto en evidencia los efectos de la alteración significativa del medio ambiente y la hidrología natural, a tal punto que provocan daños por inundaciones incluso para condiciones de lluvias habituales.

En vistas de avanzar en la planificación del territorio, el Gobierno de Mendoza, mediante la Agencia de Cambio Climático (ACC) de la Secretaría de Ambiente, solicita al Instituto Nacional del Agua (INA), evaluar las amenazas aluvionales del piedemonte al oeste del Área Metropolitana de Mendoza (AMM). Este estudio marco contempla la caracterización hidrológica e hidráulica de una extensa área, incorporando propuestas técnicas y normativas relativas a restricciones o metodologías de urbanización de bajo impacto.

OBJETIVOS

El objetivo del estudio fue actualizar el mapa existente de CN (Burgos, 2008), incorporando los cambios de uso de suelo producidos en la cuenca durante la última década y extendiendo el área al norte y al sur del estudio original. Como objetivos específicos se tuvo la mejora de la resolución espacial, a través del uso de un MDE interferométrico de alta resolución, y el uso de imágenes satelitales de última generación.

MARCO CONCEPTUAL

El método del Número de Curva del *Natural Resources Conservation Service* (NRCS), (anterior *Soil Conservation Service - SCS*), del Departamento de Agricultura norteamericano (NRCS, 2009, Chow et al., 1994), constituye el método más empleado a nivel mundial en el campo de la Ingeniería Hidrológica para la evaluación de la transformación lluvia caudal (Durán Barroso et al., 2015).

El método utiliza como parámetro básico el número de curva (CN) que representa las características medias del complejo hidrológico suelo-vegetación, estando relacionado con el estado de humedad del suelo, el uso del suelo y las prácticas de manejo (Riccardi, 2004).

La estimación de las pérdidas de precipitación tanto por infiltración como por abstracciones iniciales será en función del CN. La asignación del CN se realiza en función de la cobertura del suelo, el uso del suelo y las condiciones de humedad de la cuenca antes de la ocurrencia del evento pluviométrico.

Este parámetro es utilizado por diferentes modelos matemáticos hidrológicos entre los que se encuentra el modelo Arhymo (Maza et al, 1993; Burgos, 2005) clasificado como un modelo determinístico de parámetros concentrados y de eventos aislados o discreto. El modelo realiza el cálculo de hidrogramas para áreas rurales y urbanas, efectúa tránsitos de crecidas en cauces naturales o artificiales, tránsito de crecidas por embalses, suma hidrogramas, compara estadísticamente hidrogramas calculados y observados, dimensiona embalses, etc. Dentro de las limitaciones de trabajar con un modelo concentrado en lugar de uno distribuido, la desagregación en subcuencas o unidades menores de respuesta hidrológica reduce las incertidumbres al incorporar como datos de entrada valores medios areales extraídos de variables distribuidas en el espacio.

Dentro del modelo Arhymo, la precipitación efectiva en cuencas rurales es calculada a través de la metodología del CN con la opción de incorporar el valor de abstracción inicial (Ia) como dato de entrada.

Una de las mayores fuentes de incertidumbres asociadas al uso del método del número de curva del NRCS constituye la asignación del grupo hidrológico de suelo (GHS) al que pertenece a cada uno de los tipos de suelos, debido principalmente a la escasez de información disponible y a las diversas alternativas recogidas en bibliografía para su determinación, junto con la necesaria adaptación a los 4 grupos existentes en la metodología (Durán Barroso et al., 2015).

MATERIALES Y METODOS

La metodología se enmarca en geoprocesos dentro de un Sistema de Información Geográfica (SIG), teledetección (para clasificar usos de suelo y coberturas vegetales), interpretación de mapas base geológicos y geomorfológicos y tablas de reclasificación de doble entrada para asignar valores de CN en función del uso del suelo y del GHS (Burgos, 2008). Finalmente se ajusta el mapa de CN en función de la pendiente del terreno. Trabajos pioneros en la asignación automática del CN con SIG son los de Ferrer et al, (1995) y Scuderi & Stenta (2006).

Área de estudio

El área de estudio localizada entre los 32°30' y 33°15' de latitud S y 68°15' y 69°30' de longitud O; se ubica al Oeste de la Ciudad de Mendoza, y abarca parte de los departamentos de Las Heras, Ciudad de Mendoza, Godoy Cruz y Luján de Cuyo. Se extiende desde los 3455 a 730 msnm y posee una superficie total de 1243 km². En la figura 1 se observa la localización del área de estudio dentro de la provincia de Mendoza.

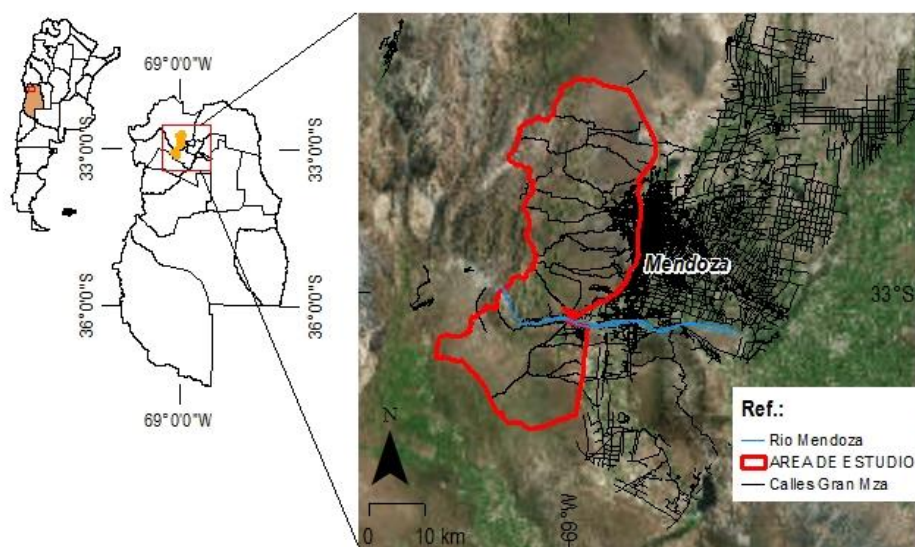


Figura 1.- Área de estudio

Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

El MDE es una representación estadística de una superficie continua de terreno mediante un conjunto de puntos cuyos valores en X, Y y Z son conocidos y están definidos en un sistema de coordenadas arbitrario (Burrough, 1986, Burgos y Salcedo, 2014). El MDE utilizado es el TanDEM/X - IDEM (Intermediate DEM) de 10 m de resolución (DLR, 2016) obtenido por convenio entre la Agencia Espacial Alemana y el INA (Burgos et al, 2015, 2016). En Figura 2a se indican las elevaciones y en Figura 2b se presenta la distribución de cuencas junto con la red hidrográfica.

Mapa de pendientes

Una variable necesaria para realizar el ajuste del CN es la pendiente, obtenida a partir del MDE mediante el cálculo de la tasa máxima de cambio de la cota de una celda respecto a sus vecinas (Burrough P. M., 1998).

En Figura 9a puede observarse el mapa de pendientes clasificadas expresadas en porcentaje.

PERDIDAS DE PRECIPITACIÓN

Se llevó a cabo utilizando SIG y tablas de clasificación cruzada de doble entrada. El mapa de clasificación hidrológica de suelo se realiza de acuerdo a la experiencia del proyectista y en función de variables tales como vegetación, tipo de suelo, geomorfología, etc; para luego realizar una tabulación cruzada con el mapa de uso de suelo obteniendo de forma automática el valor de CN para cada celda (pixel) y su distribución espacial.

A cada una de las variables que intervienen en los mapas para la obtención de CN se les asignó un número primo. Así pues, si se multiplican los diferentes mapas dará un resultado diferente por cada combinación

(Ferrer, 1995). Para obtenerlo en SIG de manera automática, se realizó un archivo de reclasificación con los valores posibles. El mapa resultante se volvió a clasificar asignando los correspondientes CN.

Complementan a las pérdidas de precipitación por infiltración las relacionadas con las abstracciones iniciales (I_a), que en este estudio fueron estimadas con las expresiones siguientes.

$$I_a = S^{0.55} \quad (1)$$

$$S = (25400/CN) - 254 \quad (2)$$

La metodología empleada (Burgos, 2008) se representa por flujograma de operaciones realizadas (Figura 3).

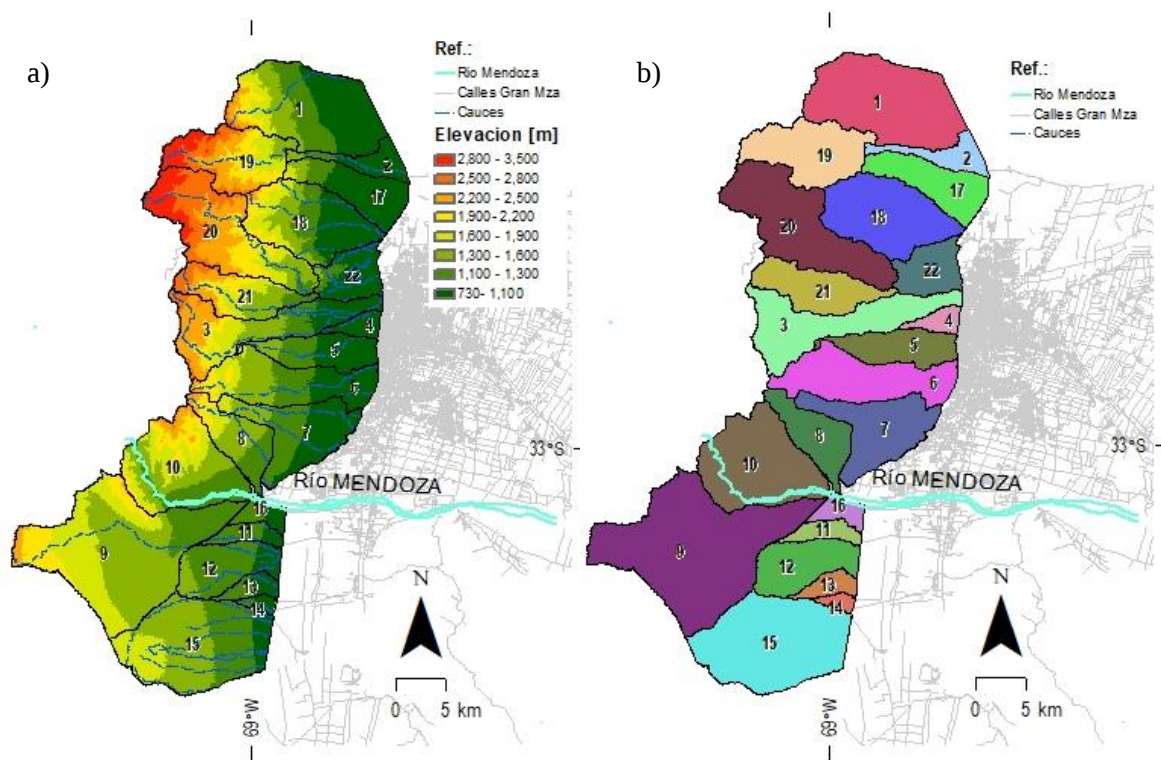


Figura 2.- a) Modelo digital de elevación (TandDEM-X, DLR, 2016); b) Delimitación de cuencas (*elaboración propia*)

Tipología vegetal

El mapa de tipología vegetal (Roig, 1996) se presenta en Figura 4a. Se identifican en el área de estudio dos grupos de vegetación: vegetación de montaña, vegetación de bolsones y huayquerías. El primer grupo se encuentra en las partes altas de las cuencas al Oeste de la zona de estudio. El segundo grupo se encuentra en la parte central y baja de las cuencas. En Tabla 1 se indican algunas características.

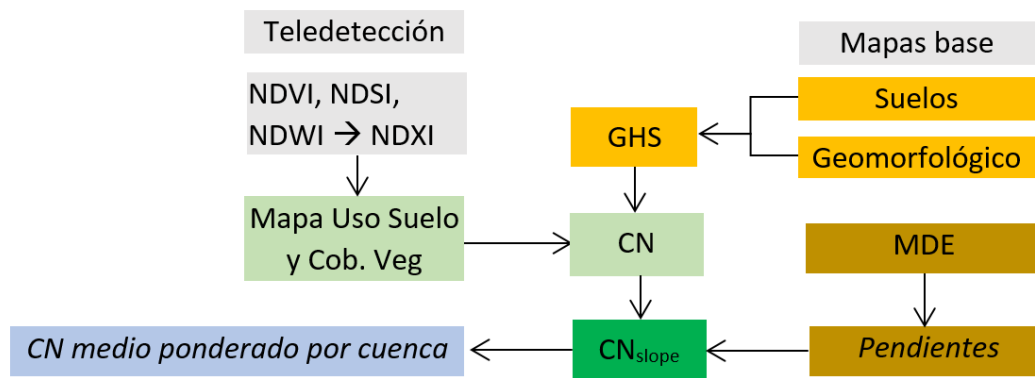


Figura 3.- Flujograma cartográfico aplicando álgebra de mapas y reclasificación para cálculo de CN

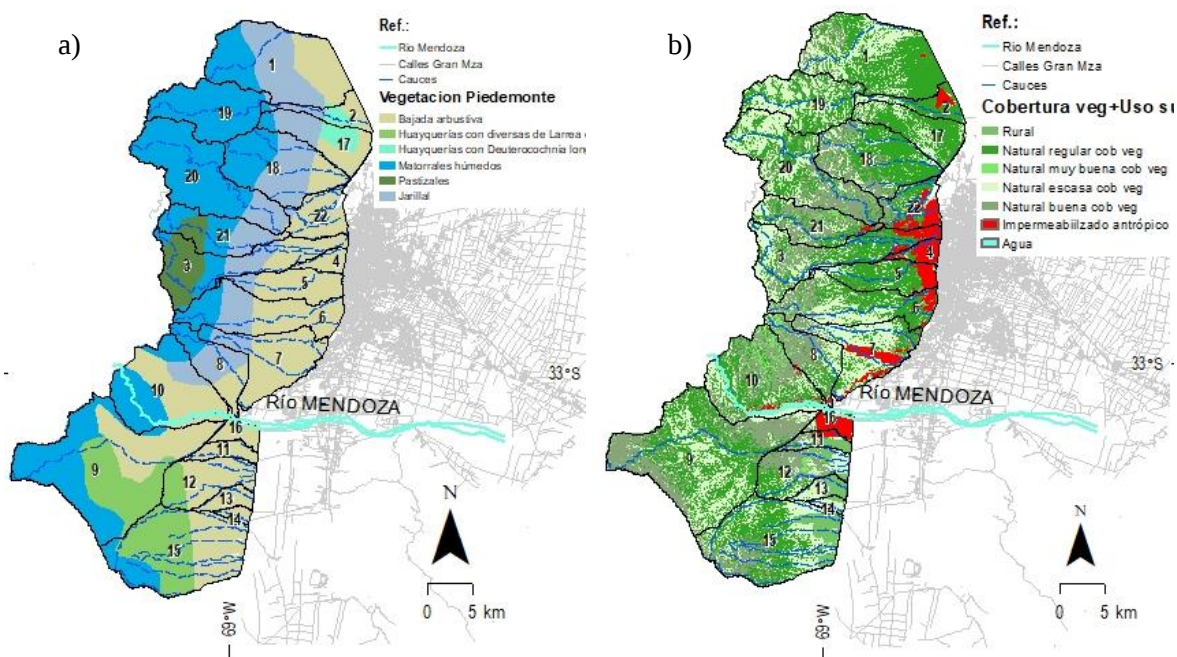


Figura 4.- a) Mapa de vegetación (Fuente: IADIZA); b) Cobertura de suelos (elaboración propia)

Tabla 1.- Clasificación de vegetación

Tipo	Grupos	Predominio	Capacidad de retención
De montaña	Matorrales y cactáceas	<i>Junellia scoparia</i> , <i>Colliguaja integerrina</i> , <i>Schinus fasciculatus</i>	Buena
	Pastizales	<i>Stipa tenuissima</i> (coironales)	Muy buena
	Jarillal	<i>Larrea divaricata</i>	Buena
De bolsones y huayaquerías	Bajada arbustiva	<i>Larrea cuneifolia</i> y <i>Stipa tenuis</i>	Buena
	Huayquerías	Diversas <i>Larrea cuneifolia</i>	Buena
	Huayquerías	<i>Deuterocochnia longisepala</i>	Buena

Coberturas de suelo

El mapa de coberturas de suelo se realizó mediante el procesamiento de imágenes satelitales y aplicación de clasificación no supervisada. Las imágenes satelitales utilizadas corresponden al satélite Landsat 8 con fecha 14 de febrero de 2018. Inicialmente se realizaron pre-procesamientos como la corrección radiométrica de las imágenes a fin de transformarlas a valores de reflectancia al tope de la atmósfera y corrección atmosférica utilizando la técnica DOS (“Dark Object Substraction”). Luego se calcularon tres índices de diferencia normalizada, Índice de Vegetación (NDVI), Índice de Agua (NDWI) e Índice de Suelos (NDSI) con el objeto de diferenciar las 3 coberturas más comunes presentes en cada escena. Los índices utilizan las bandas espectrales del visible (VIS rojo y verde), del infrarrojo cercano (IR) e infrarrojo medio (SWIR) de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$NDSI = \frac{(SWIR-IR)}{(SWIR+IR)} \quad (3)$$

$$NDVI = \frac{(IR-R)}{(IR+R)} \quad (4)$$

$$NDWI = \frac{(VIS-SWIR)}{(VIS+SWIR)} \quad (5)$$

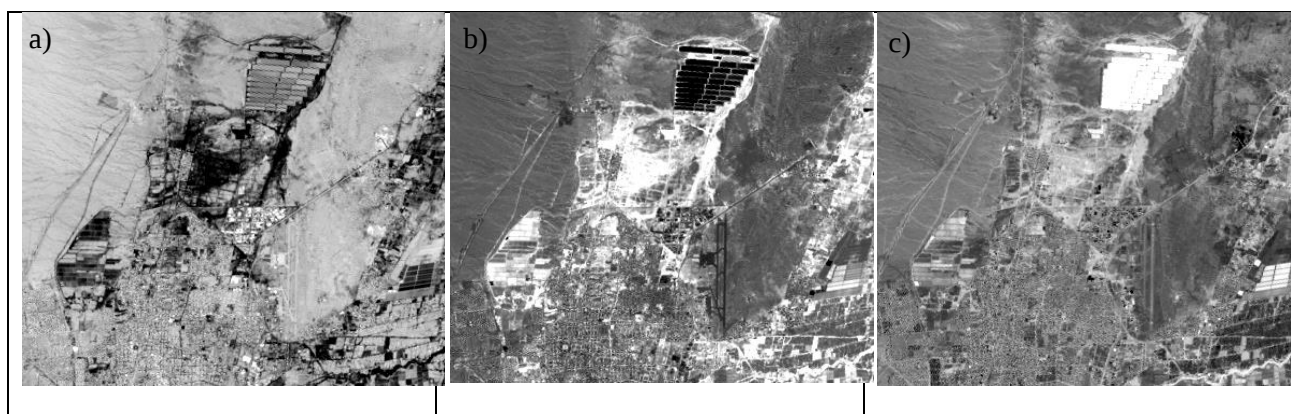


Figura 5.- a) NDSI, b) NDVI, c) NDWI (*elaboración propia*)

En la Figura 5 se aprecia un recorte de la zona de trabajo, en las cuales se observan las coberturas en tonalidades de grises. Los píxeles más claros corresponden a sectores de mayor reflectancia que, según el índice, corresponderá a la cobertura que más refleja. Por ejemplo, en la imagen de NDWI (índice de agua) las piletas de la planta de tratamiento de efluentes cloacales aparecen en colores claros a blancos, indicando alta reflectancia por ser agua. Mientras que la zona de cultivos y viñedos aparece en colores claros (alta reflectancia) en el índice de vegetación (NDVI).

La generación de estos tres índices permite realizar una composición falso color compuesto de índices de acuerdo a la metodología de Takeuchi y Yasuoka (2005), como se observa en Figura 6, en la cual se realiza una composición RGB colocando el NDSI en el canal del Rojo, el NDVI en el canal del Verde y el NDWI en el canal del azul. Los mencionados autores denominaron a la composición color como NDXI, obteniéndose

como resultado un mapa temático donde las superficies con agua aparecen con predominio de color azul, la vegetación con predominio de color verde, mientras que el suelo desnudo, la vegetación seca y las áreas urbanas oscilan entre el rojo y amarillo generando tonalidades anaranjadas (Sepulcri, M. 2015). De esta forma pueden diferenciarse mejor las coberturas presentes en una escena.

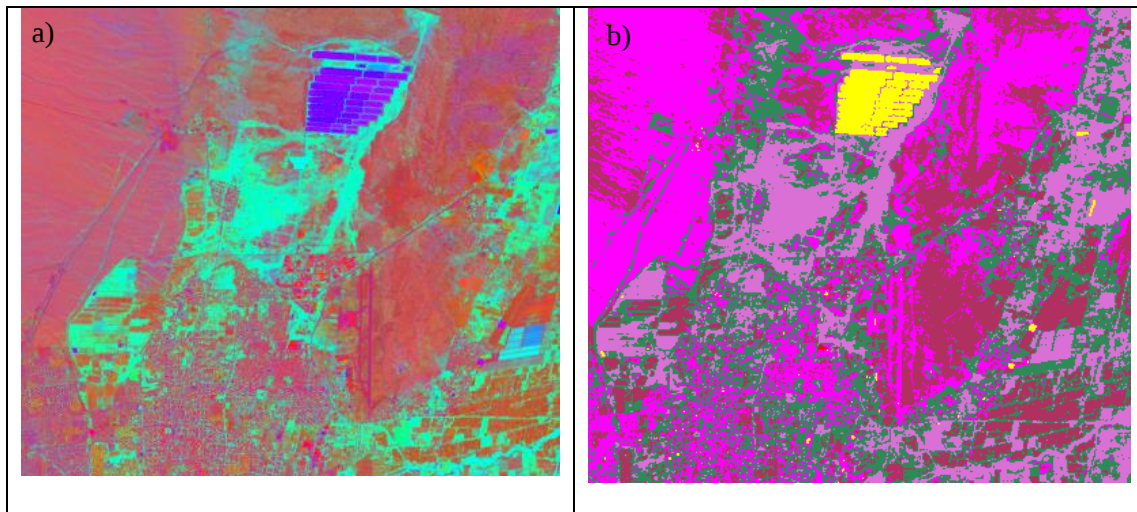


Figura 6.- a) NDXI, b) Clasificación ISODATA con posterior reagrupamiento de clases analizando histogramas *(elaboración propia)*

Finalmente, utilizando la composición de NDXI se ejecuta una clasificación no supervisada (ISODATA) a fin de identificar clases de coberturas homogéneas. Se solicitó a la clasificación que identifique 15 clases, luego observando los histogramas se agruparon clases, obteniéndose finalmente 7 a saber: (rural, impermeabilizado antrópico, 4 clases de cobertura vegetal natural diferenciando en escasa, regular, buena y muy buena cobertura, y finalmente agua). En este sentido, la utilización de la composición de índices, y no las bandas simples, optimiza la clasificación y facilita la obtención y posterior verificación analizando el histograma de cada clase. El mapa final con las clases de cobertura de suelo se observa en Figura 4b.

Geomorfología

Sobre la región involucrada se diferencian tres tipos de geoformas como puede observarse en la Tabla 3 y Figura 7a. La primera (montaña) con altitudes que oscilan entre 1900 y 3000 mts; con condiciones de aridez y paisaje erosionado por encauzada de precipitación pluvial. La segunda (piedemonte) está conformado por material no consolidado, discontinuo y en tránsito. Esta área recibe máximo aporte de precipitaciones y da origen a torrentes con flujos divergentes con erosión. La última zona (planicie) presenta disminución de pendientes con oasis de cultivo y ares urbanas (Abraham, 1996).

Tabla 3.- Clasificación del mapa de geomorfología

Tipo	Predominio	Pendientes	Permeabilidad
MONTAÑA	Precordillera: plegada por la orogenia hercínica, peneplanizada en el Mesozoico y elevada en bloques por el diatrofismo andino. Rocas predominantemente paleozoicas.	Fuertes	Baja
	Plutones: núcleo intrusivo que aflora como batolitos, macizos y cuerpos menores. Paleo y Mesozoico.	Altas	Baja
PIEDE-MONTE	Cerrilladas pedemontanas y huayquerías: edad cuaternaria, elaborada sobre depósitos continentales terciarios, plegados y elevados por la neotectónica.	Altas a medias	Muy buena
	Depresiones: originada por la tectónica andina y rellenada por sedimentos continentales terciarios y cuaternarios.	Altas a medias	Muy buena
PLANICIE	Planicies con niveles diferenciados de pedimentos, bajadas y abanicos.	Medias a bajas	Buena

Suelos

Los suelos han sido clasificados en tres grupos, en el primer grupo se encuentran rocas en zonas altas y en terrazas aluvionales se encuentran los otros dos grupos Entisoles y Ardisoles (INTA, 1995). En el sector de montaña predominan los materiales derivados de rocas del lugar. En áreas de piedemonte los suelos derivan de materiales secundarios. El primer grupo presenta pendientes en el orden del 6% al 20%, son rocas que presentan poca meteorización. El segundo grupo poseen alta pendientes con fase muy pedregosa con buen drenaje. El tercer grupo se encuentra dentro de la llanura aluvial, posee drenaje imperfecto con textura franca y pendientes en el orden de 0.5% a 3%. En Figura 7b se puede observar la distribución de suelos.

Tabla 4.- Clasificación de suelo

Grupo	Subgrupo	Drenaje
Roca	Cordillera	Malo
Entisoles	Torriortente	Bueno
	Torrifluventes	Regular
Aridisoles	Paleortides	Regular

Clasificación hidrológica de suelo

La metodología del NRCS, clasifica el potencial de escurrimiento en cuatro grupos como se observa en la tabla 5 (A, B, C y D) en función del tipo de suelo y geomorfología. En nuestra región no existe cartografía del tipo hidrológico de suelo, por lo que para obtener el mapa se procedió a interpretar, confeccionar y digitalizar mapas de geomorfología (Figura 7a) y tipo de suelo (Figura 7b).

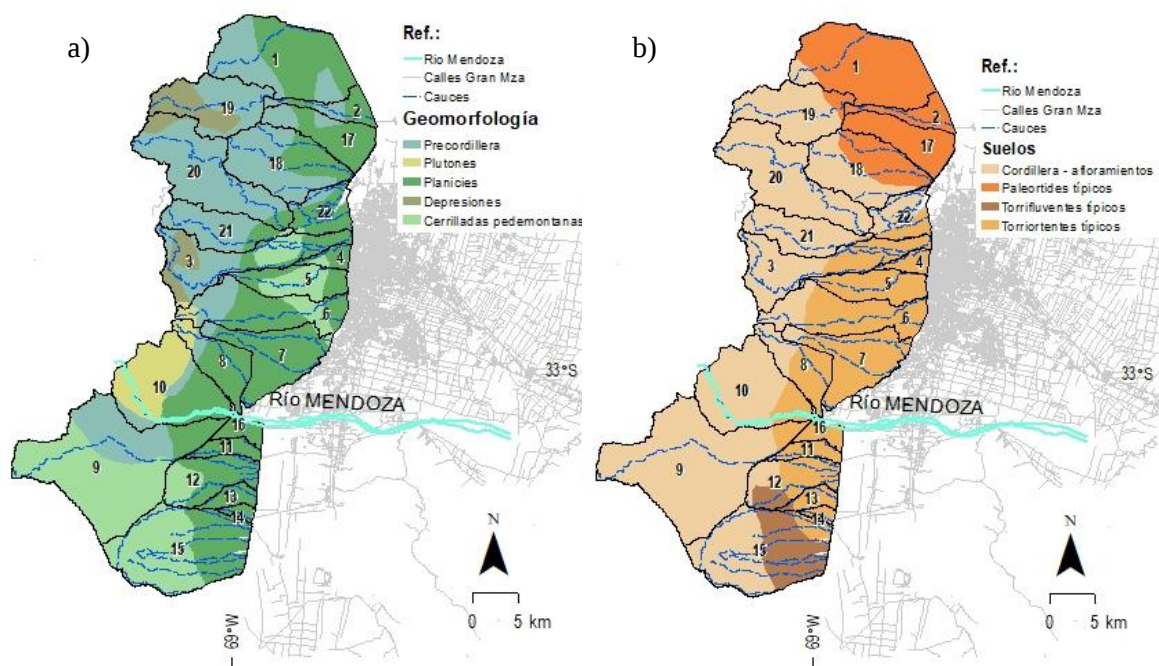


Figura 7.- a) Mapa Geomorfológico; b) Distribución de suelos (Fuente: INTA)

En la Tabla 6 se asigna los GHS al área de estudio mediante el cruzamiento de los mapas de geomorfología y suelo. El mapa de GHS final se puede observar en la Figura 9b.

Tabla 5.- Grupo hidrológico de suelo

Grupo hidrológico de suelo	Potencial de escorrentía	Pendiente	Suelos típicos
A	Escaso	0 a 3%	Arenas y gravas excesivamente drenadas
B	Moderado	3% a 10%	Texturas medias
C	Medio	> 10%	Texturas finas o suelos con una capa que impide infiltración
D	Elevado	-	Suelos de arcillas hinchadas o suelos pocos profundos sobre capas impermeables

Tabla 6.- Tabulación cruzada mapa grupo hidrológico de suelo y geomorfología

Geología / Litología	Planicies con niveles diferenciados de pedimentos, bajadas y abanicos.	Depresiones: originada por la tectónica andina y rellenada por sedimentos continentales terciarios y cuaternarios.	Precordillera: plegada por la orogenia hercínica, peneplanizada en el Mesozoico y elevada en bloques por el diatrofismo andino. Rocas predominantemente	Cerrilladas pedemontanas y huayquerías: edad cuaternaria, elaborada sobre depósitos continentales terciarios, plegados y elevados por la neotectónica	Plutonios: núcleo intrusivo que aflora como batolitos, macizos y cuerpos menores. Paleozoico y Mesozoico.
Cordillera - afloramientos	D	B	C	D	D
Paleortides típicos	A	-	A	D	-
Torriortentes típicos	B	-	C	C	-

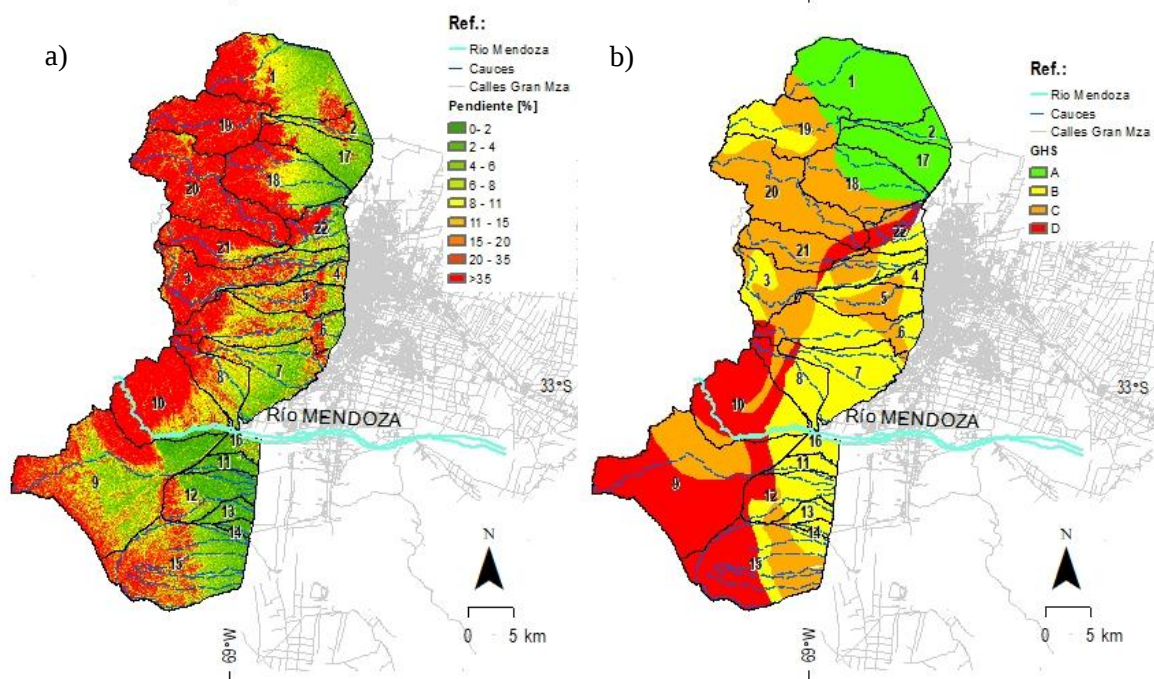


Figura 9.- a) Mapa de pendientes clasificadas, b) Mapa de Grupo hidrológico de suelo (GHS) / *Elaboración propia*

RESULTADOS

Obtención de CN en condición II de humedad antecedente (CHA II)

De acuerdo con el flujograma de la Figura 3, se cruzó la tipología y cobertura vegetal, con el GHS, asignando por reclasificaciones sucesivas los correspondientes valores de CN como se muestra en la Tabla 7 (Chow, 1994) (Fatorelli y Fernandez, 2007) y representa en la Figura 11a.

Tabla 7.- Tabla de doble entrada para asignación de CN_{II}

	GHS			
	A	B	C	D
Cobertura Vegetal y Uso del Suelo				
Rural	-	80	87	-
Impermeabilizado antrópico	82	89	92	94
Natural: escasa/nula cobertura vegetal	63	77	85	88
Natural: regular cobertura vegetal	59	74.5	83	87
Natural: buena cobertura vegetal	55	72	81	86
Natural: muy buena cobertura vegetal	50	68	79	84
Agua	99	99	99	99

Ajuste por pendientes

Una vez obtenido la distribución espacial del CNII se procedió al ajuste de acuerdo al flujograma de la Figura 3. El método original no tiene en cuenta los efectos de las pendientes ya que las áreas de estudio donde se aplica generalmente presentan pendientes bajas del orden de 1% a 5%. Sin embargo, la zona de estudio del

proyecto presenta pendientes elevadas en algunas zonas superiores al 5%; por ello la pendiente es un factor importante para determinar los escurrimientos superficiales. Según (Mahboubbeh et al, 2012) se ajustó el mapa de CN (CHA II) mediante la ecuación 6.

$$CN_{II}^{\alpha} = CN_{II} * \frac{322.79 + 15.63 (\alpha)}{\alpha + 323.52} \quad (6)$$

donde CN_{II} es el valor obtenido mediante el método NRCS, CN_{II}^{α} es el valor de número de curva ajustado mediante la pendiente y α es la pendiente ($m \cdot m^{-1}$)

Comparación decadal del CN

Obtenido el mapa actualizado se procedió a analizar los cambios producidos desde el 2008 a la actualidad. Las diferencias en la generación entre ambos mapas fueron la resolución del MDE, la cobertura vegetal y el uso de suelo. Se indican en Tabla 8 los resultados de comparar el valor medio ponderado por área para cada cuenca.

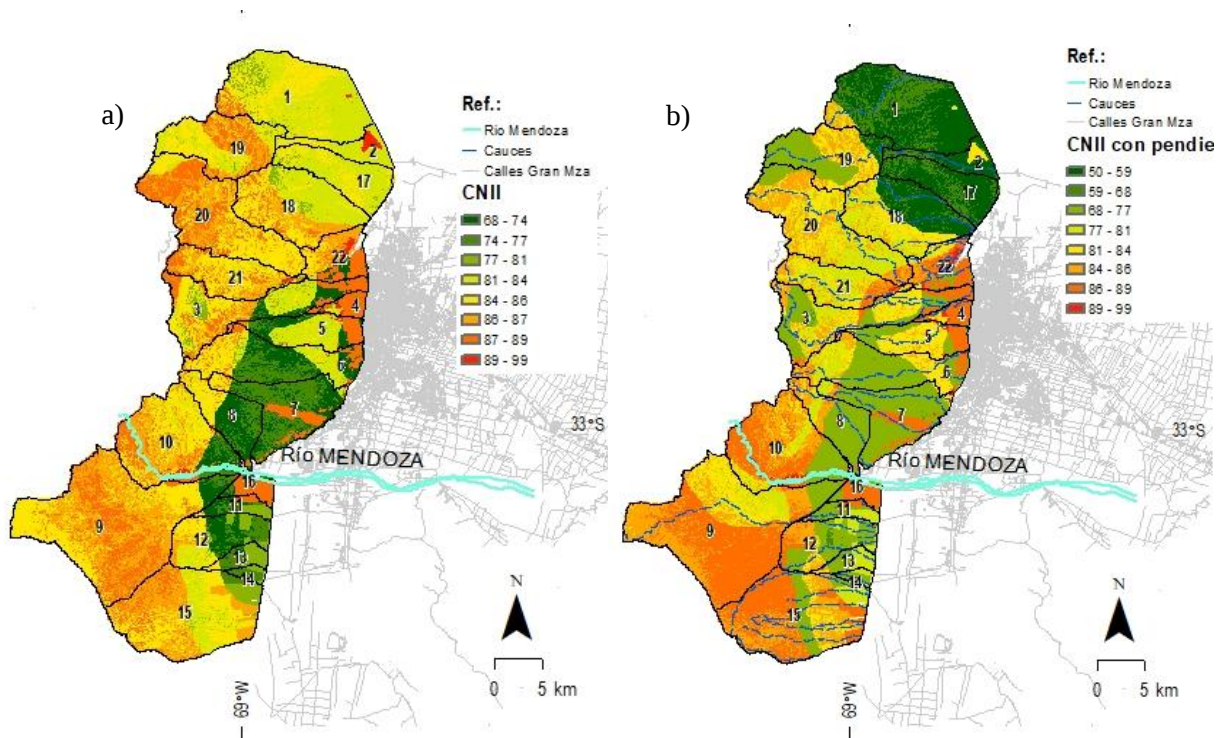


Figura 11.-a) Mapa de CN_{II} , b) CN_{II}^{α} / Elaboración propia

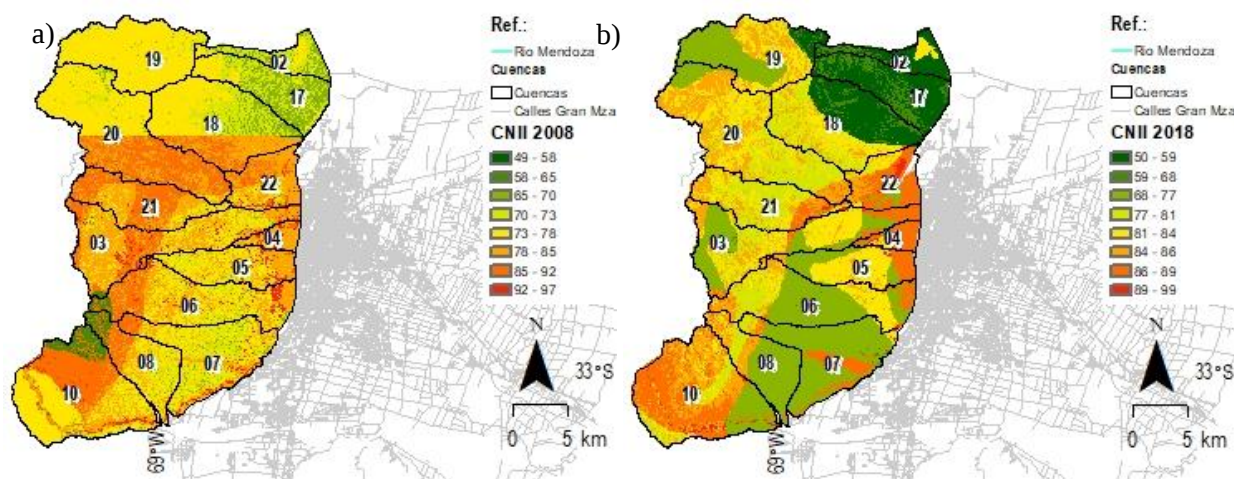


Figura 12.- a) CN_{II}^{α} (año 2008) , b) CN_{II}^{α} (año 2018) / Elaboración propia

Tabla 8. Análisis de las diferencias decadales del CN (valores medios areales)

Indicador			CN 2008	CN 2018	Dif. (CN)	Dif. (%)	DIF. % MIN	DIF. % MAX
CN AREA TOTAL	media		78.3	78.6	0.3	0.4%		
	desviacion estandar		7.12	8.85	1.7	24.3%		
	max		97	99	2.0	2.1%		
	min		49	50	1.0	2.0%		
CN por subcuencas	02	Cerro Cal	71.6	62.7	-8.9	-12.4%	-21.0%	9.8%
	03	Zjon de Los Ciruelos	81.0	80.8	-0.2	-0.2%	19.8%	-6.2%
	04	Parque Gral San Martin	82.8	87.7	4.8	5.8%	18.1%	-6.0%
	05	Zjon Frias	78.5	81.6	3.1	3.9%	22.9%	-6.4%
	06	Zjon Maure	79.3	79.6	0.3	0.4%	20.2%	-6.3%
	07	Canal Tejo-Sosa	76.6	78.3	1.6	2.1%	22.2%	-6.5%
	08	Colector Blanco Encalada	76.6	78.0	1.5	1.9%	22.2%	-3.9%
	10	Rio Mendoza - Toma Españoles	79.4	84.6	5.2	6.5%	22.7%	2.5%
	17	Colector Las Heras 2	71.0	60.1	-10.9	-15.4%	-21.1%	5.6%
	18	Qda. de las Chilcas	76.2	71.6	-4.6	-6.0%	1.3%	-6.6%
	19	Higueras	74.6	77.8	3.1	4.2%	-21.4%	13.4%
	20	Casa de Piedra	80.4	82.6	2.3	2.8%	7.5%	-3.7%
	21	San Isidro	84.1	83.0	-1.2	-1.4%	4.8%	-3.6%
	22	Colector Las Heras	82.9	85.5	2.6	3.1%	4.8%	-3.6%

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mediante el uso de imágenes satelitales e índices se actualizó la cobertura vegetal y el uso de suelo, que junto al empleo de una mejor resolución espacial del MDE y una mayor extensión se logró confeccionar un mapa de CN distribuido actualizado y para todo el piedemonte al oeste del AMM.

El método del CN del NRCS es uno de los más experimentados y utilizados para estimar la escurrimiento en cuencas. El parámetro hidrológico CN, es función de distintas variables relacionadas con las características del suelo. Sin embargo en zonas con elevadas pendientes como es el caso del piedemonte mendocino es aconsejable ajustar este método utilizando un mapa de pendientes. La diferencia entre el CN con y sin ajuste por pendientes llega a máximos cercanos al 20% para las pendientes mayores (datos no mostrados).

Del análisis de la diferencia decadal a nivel regionalizado (medio areal para toda la zona de estudio) el aumento de la media es insignificante (0.4%) con aumento de los máximos y mínimos valores del 2%. Pero a nivel de cuencas el aumento de la media es del orden del 1.3%, con más variabilidad. Se presentan algunas cuencas en donde el valor medio bajó (debido en parte a poseer mejor detalle de zonas naturales), pero para las cuencas donde se encuentra el avance urbano, la media subió alrededor del 3%. Si se analizan los valores distribuidos se destacan la incidencia del avance urbano que incrementa los CN hasta un 22% en los valores máximos. En cambio la incidencia de los cambios relativos a la cobertura vegetal no supera el 4%. Otra influencia que impacta es el avance de la frontera agrícola. Los resultados son parciales y se validarán en etapas posteriores.

Una ventaja del uso de la metodología presentada es que la actualización de los mapas generados es más dinámica y eficiente, ya que supone cambiar los datos distribuidos de alguna variable (en general uso del suelo y vegetación) y correr de nuevo los geoprocesos. Se recomienda actualizar el mapa resultante cada 5 años.

Este mapa actualizado servirá de base para estimar las pérdidas de la precipitación en el estudio de las amenazas aluvionales al oeste del AMM.

La mayor incertidumbre del método radica en la asignación del GHS a los diferentes tipos de suelo presentes. Como trabajos futuros se propone validar el mapa de GHS con ensayos de infiltración a campo.

REFERENCIAS

Abraham, E. ,1996. Mapa Geomorfológico Mendoza sector Norte. Junta de Andalucía, Gobiernos y Universidades de la Región Andina Argentina. Inventario de Recursos de la Región Andina Argentina. Sistema Físico Ambiental de Cuyo. Provincia de Mendoza.

Burgos, V. H., 2005. *“Modelación Hidrológica de Cuencas Piedemontanas. Uso de Sistemas de Información Geográfica en Hidrología Superficial”* XX Congreso Nacional del Agua. Mendoza (2005)

Burgos, V. H. , 2008. *“Estimación de la distribución espacial del Número de Curva en cuencas piedemontanas del Gran Mendoza aplicando técnicas SIG”* Workshop internacional de aplicaciones de SIG en Hidrología. Univ. Nacional del Litoral, Facultad de Ciencias Hídricas, Santa Fe., 15pp.

Burgos, V.H. y A.P. Salcedo, 2014. *“Modelos digitales de elevación: Tendencias, correcciones hidrológicas y nuevas fuentes de información”* en 2do. Encuentro de Investigadores en Formación de Recursos Hídricos (IFRH), Bs.As. ISBN 978-987-45194-2-9

Burrough, P. , 1986. *“Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment”*. En Monographs on Soil and Resources Survey. No.12 (pág. 193). New York: Oxford University Press.

- Burrough, P. M. ,1998. Principles of Geographical Information Systems. New York: Oxford University Press.
- Chow Ven Te; Maidment, D.; Mays, L. , 1994. Hidrología Aplicada. McGraw Hill Interamericana S.A. SantaFe de Bogotá, 584 p.
- DLR German Aerospace Center , 2015. TanDEM-X / TerraSAR Dataset / Project ID ATI_HYDR6658: “Hydrological and hydraulic modelling using High Resolution TanDEM-X Data” © DLR <2015>
- DLR German Aerospace Center , 2016. TanDEM-X IDEM Dataset / Project ID DEM_HYDR1884: “Landslide and flash flood risk assessment on informal foothill settlements at western of Mendoza and Catamarca province, Argentina” © DLR <2016>
- Durán-Barroso, P., González, J., 2015. “Variabilidad de los grupos hidrológicos del método del número de curva del NRCS (NRCS-CN)” en IV Jornadas de Ingeniería del Agua, Córdoba, España; Oct. 2015.
- Fattorelli, S., & Fernández, P. C., 2007. Diseño hidrológico. Zeta Editores.
- Ferrér, M., Rodríguez, J., & Estrela, T., 1995. “Generación automática del número de curva con sistemas de información geográfica”. Ingeniería del agua, 1995, vol. 2, núm. 4.
- INTA, 1995. Atlas de suelos de la República Argentina.
- Mahboubbeh E., 2012. “Runoff Estimation in Steep Slope Watershed with Standard and Slope-Adjusted Curve Number Methods”. Serdang, Selangor, Malaysia.
- Maza, Jorge; L. Fornero; C. Litwin y P. Fernández, 1993. ARHYMO. Manual del Usuario. INCyTH-CRA. Mendoza
- NRCS, 2009. National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, version (1956, 1964, 1971, 1985,1993, 2004, 2009). In: National Engineering Handbook, Engineering Division. US. Department of Agriculture.
- Riccardi, G., 2004. Hidrología en Medios Antropizados. Libro electrónico, cap 4. Universidad Nacional de Rosario. <http://c-virtual.fceia.unr.edu.ar/>
- Roig, F.; Martinez Carretero, E.; Mendez, E., 1996. Mapa de Vegetación de la Provincia de Mendoza. Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (IADIZA)-CRYCIT-MENDOZA-ARGENTINA. (1: 1.000. 000). Multequina, 5.
- Scuderi, C. y Stenta H., 2006. “Estimación del Número de Curva (CN) a partir de la interpretación de imágenes satelitales en la cuenca del A° Ludueña, Santa Fe, Argentina” en Cuadernos del CURIHAM, Vol.12.
- Sepulcri, M.G; Flamenco, E.A; Pizarro, M.J; Herrera, M.G; Borus, J; Giordano, L., 2015. “Cartografía de susceptibilidad hídrica en el delta del río Paraná”. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. N° 34-47-56. Buenos Aires.
- Takeuchi, W. y Yasuoka, Y., 2005. “Development of normalized vegetation, soil and water indices derived from satellite remote sensing data” Journal of the Japan Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 43 (6): 7-19.