

Variabilidad del número de curva en función de las fuentes de datos en áreas cultivadas del sureste español

Variability of the number of curves considering different data sources in cultivated areas in Southeastern Spain

Juan Manuel García-Guerrero^{a1}, Juan Tomás García^{ib a2*}, Manuel Alcaraz-Aparicio^{a3}, Luis Gerardo Castillo^{ib a4}, Luis Altarejos-García^{ib a5}, José María Carrillo^{ib a6}

^a Departamento de Ingeniería Minera y Civil, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y de Ingeniería de Minas, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII, 52. 30203 - Cartagena, España.

E-mail: ^{a1} jm.guerrero@upct.es, ^{a2} juan.gbermejo@upct.es, ^{a3} m.alcaraz@upct.es, ^{a4} luis.castillo@upct.es, ^{a5} luis.altarejos@upct.es, ^{a6} jose.carrillo@upct.es

*Autor para correspondencia

Recibido: 28/07/2021

Aceptado: 08/10/2021

Publicado: 31/10/2021

Citar como: García-Guerrero, Juan Manuel; García, Juan Tomás; Alcaraz-Aparicio, Manuel; Castillo, Luis Gerardo; Altarejos-García, Luis; Carrillo, José María. 2021. Variability of the number of curves considering different data sources in cultivated areas in Southeastern Spain. *Ingeniería del agua*, 25(4), 287-302. https://doi.org/10.4995/la.2021.IA_25-4_16013

RESUMEN

La evaluación de la infiltración es clave para poder estimar la escorrentía superficial, donde el método del número de curva (CN) es uno de los más usados. Este trabajo ha analizado la variabilidad del número de curva en dos cuencas situadas en el sureste español, a partir de los usos de suelo de los proyectos *Corine Land Cover* y SIOSE en diversos periodos, y a partir de las clasificaciones de suelo del proyecto LUCDEME y el mapa geológico MAGNA. Haciendo uso de Sistemas de Información Geográfica, se han obtenido como resultado 11 valores de CN para cada cuenca, concluyendo que, si bien los usos de suelo hacen variar el CN, la mayor variación se produce al considerar el grupo hidrológico del suelo como tipo B o C. La simulación continua de la humedad del suelo, en parcelas con cultivos y riegos específicos, en el periodo de estudio ha resultado en valores de humedad antecedente próximos a la hipótesis CN II durante considerables periodos del año.

Palabras clave | escorrentía, número de curva, uso del suelo, clasificación hidrológica del suelo, humedad antecedente, sureste español, cultivos intensivos.

ABSTRACT

The evaluation of the infiltration is essential to estimate the surface runoff after a rainfall event. The curve number (CN) method is one of the most widely used to estimate the amount of runoff, in this work, the curve number has been calculated in two watersheds located in the Southeastern Spain, considering the land uses of the Corine Land Cover and SIOSE projects along different periods, and the soil classifications of the LUCDEME project and the MAGNA geological map. The results obtained using Geographical Information Systems show that, although the land uses change the CN, the highest variation is due to the consideration of the hydrological group of the soil as type B or C. Continuous simulation of soil moisture, in plots with specific crops and irrigation, over the study period has resulted in antecedent moisture values close to the CN II hypothesis during considerable periods of the year.

Key words | runoff, curve number, use of soil, hydrological soil classification, antecedent soil moisture, southeastern Spain, irrigation, intensive crops.

INTRODUCCIÓN

La caracterización de la infiltración es un proceso fundamental a la hora de definir la escorrentía superficial tras un episodio de precipitación. Uno de los métodos más ampliamente utilizado para modelar la fracción de la precipitación total que producirá escorrentía, es el denominado método del número de curva (CN) (Mockus, 1972), propuesto por el *Natural Resource Conservation Service* (NRCS) (USDA, 2004; NCRS, 2007). Se trata de un modelo de una ecuación que permite calcular la parte de lluvia que se convierte en escorrentía mediante un parámetro tabulado, el CN, que refleja las características de abstracción o infiltración de la cuenca. Los factores que determinan el CN son: (1) el uso del suelo, que incluye el tipo de cobertura, (2) el grupo hidrológico del suelo (GHS), (3) la pendiente del terreno, (4) la práctica de cultivo, y (5) las condiciones de humedad antecedente (Témez, 1978; Ferrer-Juliá, 2003).

En la actualidad, la caracterización del CN se lleva a cabo mediante procesamiento con Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Ferrer-Juliá *et al.*, 1995). Existen diversas fuentes de información respecto a los usos del suelo, sometidas a actualizaciones periódicas. Como información de referencia, destaca el proyecto europeo *Corine Land Cover 2000*, en adelante CLC00, recogido por la Agencia Europea de Medio Ambiente (*European Environment Agency*, EEA) (2002), que dispone de un nivel de detalle de los usos del suelo jerarquizado, y que en España alcanzó el denominado nivel 5. Sin embargo, actualizaciones posteriores (EEA, 2018) se han limitado a niveles de detalle inferior (hasta el nivel 3), que no permiten distinguir ciertas características de los usos del suelo que influyen en el CN, como la distinción entre suelo de secano o de regadío (Aragón *et al.*, 2009). La jerarquía de usos del suelo recogida en CLC00, en concreto su nivel 5 de detalle, sirvió además de referencia para establecer la jerarquía del umbral de escorrentía recogida en la Norma 5.2-IC, Drenaje Superficial (Orden FOM/298/2016 de 15 de febrero) del Ministerio de Fomento (2016).

Posteriormente, en el caso de España, se ha desarrollado un mapa de usos del suelo de mayor resolución espacial denominado proyecto de Sistema de Ocupación del Suelo en España, SIOSE (Del Bosque González *et al.*, 2005). Dicha distribución recoge, mediante una serie de atributos a través de su clasificación orientada a objetos, información que permite compensar el nivel 5 y así alcanzar el nivel de detalle alcanzado en CLC00. Sin embargo, en la actualidad no hay una correspondencia entre la clasificación de usos de suelo propuesta por SIOSE y la presentada por Corine (Hernández, 2008), como si ocurre en la definición de la rugosidad de Manning propuesta en la Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2011).

Los grupos hidrológicos del suelo están directamente relacionados con la tasa de infiltración mínima saturada de dicho suelo, distinguiendo cuatro grupos de mayor a menor capacidad de infiltración, denominados A, B, C y D. Según la fracción de arena (diámetro 0.05 – 2 mm), de limo (diámetro 0.002 a 0.05 mm) y arcilla (diámetro inferior a 0.002 mm), se pueden clasificar los suelos en diferentes texturas, determinándose el grupo hidrológico mediante diversos ábacos como el triángulo textural de clasificación del *United States Department of Agriculture* (USDA, 2017). La información disponible en cuanto a las texturas procede de la Base de Datos de Propiedades Edafológicas de los Suelos Españoles utilizada en los trabajos realizados por Ferrer-Juliá (2003), que son referencia básica en España. Por otro lado, el Mapa Geológico Nacional (MAGNA), que recoge las características litológicas de los suelos, ha sido extensamente empleado en la caracterización de los GHS. Por último, con un carácter más regional, el Proyecto de Lucha contra la Desertificación del Mediterráneo (LUCDEME) recoge una campaña experimental que incluye la composición textural de los suelos (Alias *et al.*, 1988). La delimitación entre los suelos del grupo hidrológico B y los del tipo C, mayoritarios en el ámbito del estudio, así como en el territorio nacional, varía dependiendo tanto por el uso del triángulo de texturas consultado como por la campaña experimental que define las texturas empleadas (Mongil y Navarro, 2012).

En la determinación del número de curva, las condiciones de humedad antecedente se dividen normalmente en I (seca), II (media) y III (húmeda). Los valores de CN obtenidos a partir de las tablas desarrolladas por el método del SCS corresponden a las condiciones medias, CN(II). Dichas condiciones previas de humedad del suelo en ocasiones se asocian a la precipitación registrada durante los últimos cinco días, donde un rango de 36-53 mm, próximo a los valores de riego en cultivos, se asocia a la condición de humedad media (Hope y Schulz, 1982). En el caso particular del sureste español, la Norma 5.2-IC, Drenaje Superficial (Ministerio de Fomento, 2016) propone corregir el umbral de escorrentía aproximándolo al denominado estado antecedente seco, CN(I). Asimismo, para eventos correspondientes a periodos de retorno superiores a 10 años se aconseja elegir el estado de humedad media (Ponce y Hawkins, 1996). La Norma española de drenaje superficial tiene en cuenta la pendiente clasificándola en dos

grupos: zonas con pendientes <3%, y zonas con pendientes ≥3%, casos en los que se engloba además la práctica de cultivo, lo que también supone variaciones en la variable CN a considerar (Ministerio de Fomento, 2016; Témez, 1978; Ferrer-Juliá, 2003).

Por otro lado, en España existe una capa SIG del umbral de escorrentía (mm) disponible a través Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico de España (MITECO) con condiciones de humedad media. Dicha capa fue determinada a partir de los trabajos de Ferrer-Juliá (2003) con el proyecto *Corine Land Cover 2000* en su nivel de detalle máximo 5 y con un tamaño de celda de 500×500 m, el cual se usa hoy en día como referencia. Dicha información se incluye en la Aplicación para consulta de los mapas de caudales máximos (CAUMAX, v2.3), del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Desde el año 2000 se ha actualizado la información de los usos y cobertura del suelo, existiendo además cierta variabilidad sobre la información disponible de los tipos del suelo. Resulta por tanto de interés conocer cómo dichas fuentes de datos disponibles pueden suponer variaciones en la estimación de CN, y por tanto afectar a los cálculos posteriores de lluvia neta, lo cual ha sido motivo de diversos estudios (Campón *et al.*, 2015; Durán-Barroso y González, 2015). Dichas variaciones podrían repercutir sobre el diagnóstico de la capacidad de drenaje de las infraestructuras existentes y sobre los mapas de riesgo de inundación actualmente publicados. Para dar respuesta a estas cuestiones, el presente trabajo aborda la obtención de los valores de CN considerando diversas combinaciones de la información actualizada disponible, y estimando las variaciones producidas con referencia a la capa SIG considerada de referencia. El estudio se centra en el análisis de dos cuencas situadas en el Campo de Cartagena (España), correspondientes a las ramblas de La Peraleja y El Mirador, con predominio de suelos cultivados en un área de clima semiárido del sureste español.

MATERIALES Y MÉTODOS

Modelo empírico de infiltración SCS-CN

El método establece como hipótesis la proporcionalidad entre la escorrentía acumulada dividida por la infiltración total y la precipitación neta, obtenida descontando a la precipitación el umbral de escorrentía, dividida por la máxima infiltración potencial (USDA, 2004; NCRS, 2007). Asumiendo continuidad y una relación entre el umbral de escorrentía y la infiltración máxima potencial, se llega a la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{(R - 0.2S)^2}{R + 0.8S} \quad (1)$$

donde Q es la escorrentía acumulada, R la precipitación acumulada en el intervalo temporal, y S la retención máxima potencial del suelo, todas ellas expresadas en mm.

Los estudios empíricos realizados por el SCS relacionaron la máxima infiltración potencial con el número de curva, CN, cuyos valores están tabulados entre 0 y 100, a través de la siguiente ecuación donde S se expresa en milímetros:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

En España, Témez (1978) realizó la adaptación del método de origen americano usando como parámetro de referencia el umbral de escorrentía P_0 cuyo valor se definió como el 20% de la capacidad de almacenamiento, S . El cálculo de dicho parámetro es tabular y, tras varias adaptaciones, la Norma de drenaje 5.2-IC recoge la versión más actualizada con la jerarquía procedente del CLC00. En el método original SCS-CN, S es una constante, mientras que en el modelo SWRRB (Williams *et al.*, 1985), S está relacionado con el contenido de agua del suelo a través de la siguiente ecuación:

$$S = S_1 \left\{ 1 - \frac{SW}{SW + e^{[w_1 - w_2(SW)]}} \right\} \quad (3)$$

siendo SW el contenido de agua del suelo en la zona de las raíces; S_1 es el valor máximo de humedad en el suelo utilizando CN I que es el número de curva para la condición de humedad seca; w_1, w_2 son dos factores de forma que se calculan asumiendo que $S=S_1$

en la Ecuación (3) para SW equivalente al punto de marchitamiento y que $S=S_3$ en la Ecuación (3) para un contenido de agua del suelo, SW , correspondiente con la capacidad de campo.

Esta formulación, presentada por primera vez en el modelo $SWRRB$, tiene en cuenta las operaciones de riego y de absorción de agua por parte de las plantas que se producen en el suelo.

Mapa del umbral de escorrentía en España

La base de datos de referencia de los valores de CN para España está publicada en una capa SIG del umbral de escorrentía (mm), disponible por parte del Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico de España (MITECO) con condiciones de humedad media, según los trabajos de Ferrer-Juliá (2003) a partir del uso del suelo del proyecto *Corine Land Cover* 2000 en su nivel de detalle máximo 5, y con un tamaño de celda de 500×500 m. Ferrer-Juliá (2003) recopiló, analizó y procesó la Base de Datos de Propiedades Edafológicas de los Suelos Españoles. Dicha base de datos dispone de una campaña experimental que incluye la información de textura de las muestras de suelo que a su vez permiten caracterizar el Grupo Hidrológico del Suelo o GHS (Trueba *et al.*, 2000). En la zona de estudio, la caracterización muestra un predominio de *cambisol cálcico* al que texturalmente le corresponde un grupo hidrológico tipo C para la zona de estudio (Ferrer-Juliá, 2003). Por su parte, la Norma de drenaje española 5.2-IC recoge un mapa textural que coincide con el grupo hidrológico del tipo C.

Información sobre la cobertura del suelo

En el presente estudio se han utilizado 4 grupos de información de cobertura del suelo, 3 del *Corine Land Cover* (1990, 2000 y 2018), y 1 del Proyecto SIOSE (Sistema de Información sobre la Ocupación del Suelo de España, 2014).

I. Proyecto europeo *Corine Land Cover*

La fuente europea para obtener las coberturas del suelo utilizadas es el proyecto *Corine Land Cover* (CLC), cuyas bases de datos CLC proceden de la clasificación de imágenes de satélite. Se trata de un mapa vectorial a escala 1:100,000 en el que se distinguen y clasifican 44 clases de cobertura del suelo mediante una codificación de 3 niveles, correspondientes a la clasificación del Proyecto *Corine*. En el caso particular de España, dicha codificación se amplió a dos niveles más, añadidos para perfeccionarlos, alcanzándose así 64 clases para el CLC90 y 85 clases para el CLC2000. La resolución de la capa vectorial es de 25 ha como unidad cartográfica mínima, 5 ha para el cambio de cobertura del suelo, y 100 m de anchura cartográfica mínima (EEA, 2018). La diferencia entre el nivel 3 y el nivel 5 ha puesto de manifiesto ciertas limitaciones a la hora de distinguir y adaptar diversas características del territorio, como son todas aquellas relacionadas con el regadío y el secano, quedando muchas veces englobadas en clases muy generales, sin posibilidad de ser distinguidas. Véase, por ejemplo, la *clase 241 de cultivos anuales asociados con cultivos permanentes* o la *clase 242 de mosaico de cultivos* (Aragón *et al.*, 2009). Sin embargo, esta diferenciación sí se hizo en el año 2000 a través del nivel 5. Por otro lado, la resolución con la que se toman las imágenes que se usan para la definición del nivel 3 de CLC ha aumentado mucho durante los últimos años, alcanzándose valores de precisión ≤ 10 m con Sentinel-2 en CLC18, lo que permite mejorar la detección del cambio de cobertura del suelo.

II. Proyecto SIOSE 2014 de cobertura del suelo

SIOSE 2014 es una base de datos de coberturas del suelo para España a escala de referencia 1:25000. Su unidad espacial es el polígono. Todo el territorio está dividido según una malla continua de polígonos, donde a cada polígono se le asigna un tipo de cobertura o una combinación de ellas. La superficie mínima representada por un polígono SIOSE depende de la cobertura del suelo del polígono. Por ejemplo, para cultivos intensivos se considera 0.5 ha, para zonas urbanas 1 ha, mientras que para zonas forestales y naturales se considera una superficie mínima de 2 ha. Cada polígono debe contener una cobertura del suelo que pueda considerarse homogénea o una combinación de varias coberturas del suelo homogéneas, que la hagan claramente distinguible de las unidades circundantes. En cualquier caso, será necesario recoger las coberturas que presenten al menos el 5% de la superficie del

polígono. La principal fuente de datos es una combinación de imagen de satélite SPOT5 como referencia geométrica y temporal. SIOSE, con sus atributos y su clasificación Modelo Orientada a Objetos (MOO), compensa el nivel 5 del CLC2000. Sin embargo, en la actualidad no está disponible una nomenclatura jerárquica para SIOSE con carácter público. El IGN está ensayando una pasarela de SIOSE a CLC (Martí, 2013), pero hasta el momento la transición entre ambas bases de datos SIOSE a CORINE no es en modo alguno obvia, y no ha sido publicado ningún algoritmo de transformación. En el presente trabajo se ha realizado una correspondencia en los usos del suelo encontrados en la zona de estudio.

En la Figura 1 se presentan las diferencias en las coberturas del suelo entre CLC 2018 y SIOSE 2014 en una pequeña zona del área de estudio, donde se observan diferencias importantes en el tamaño de las áreas discretizadas, y donde el proyecto SIOSE es más preciso. Además, la figura muestra un polígono con la cobertura SIOSE 2014 *Asentamiento agrícola y huerta* según el nivel de detalle equivalente al nivel 3 llamado SIOSE codiige, donde se presentan además unos atributos de mayor detalle, equivalentes al nivel de detalle 5 llamado SIOSE code, donde se precisa la existencia de un 85% de frutales cítricos en regadío y un 15% de cultivos herbáceos en regadío no regado en el momento de la toma de datos.

Información sobre el grupo hidrológico del suelo. Clasificación de la base de datos e información sobre el suelo disponible

I. Mapa geológico MAGNA

El MAGNA es el mapa geológico de España a escala 1:50000. Representa la naturaleza de los materiales (rocas y sedimentos) que aparecen en la superficie terrestre, su distribución espacial y las relaciones geométricas entre las distintas unidades cartográficas. Incluye la agrupación de una o múltiples litologías con un rango de edad común, representando diferentes estructuras geológicas, que muestran la relación espacial de las diferentes unidades cartográficas (cronología, superposición, relación geométrica, cambios laterales de facies, etc.). También incluye diagramas estructurales, hidrogeológicos y de localización geológica de cada hoja en que se divide la geografía nacional dentro de su ámbito regional (López-Olmedo, 2017). El procesamiento a realizar con la información geológica es asignar a cada elemento de la leyenda un grupo hidrológico de suelo A, B, C o D, según trabajos previos realizados por Martínez (2006). La asignación de un grupo hidrológico a una clase geológica no es directa, por lo que es necesario realizar un estudio de la memoria geológica de cada hoja, que da indicaciones más precisas de cada tipo de suelo. Este sistema ha sido utilizado

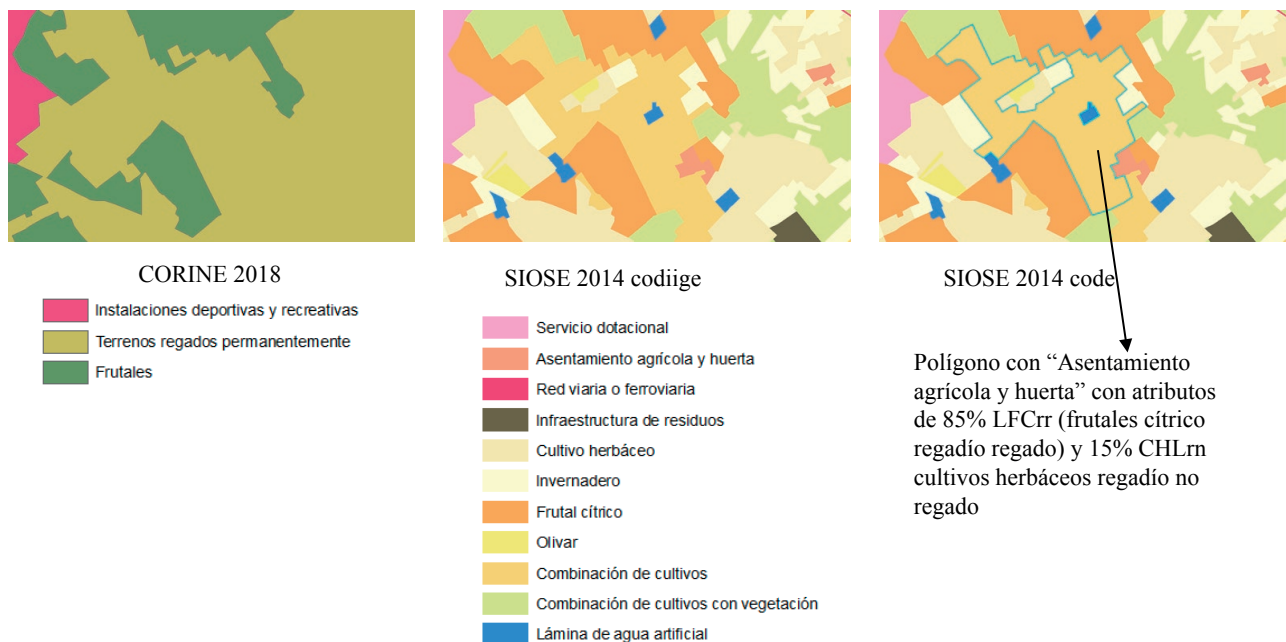


Figura 1 | Comparación de la cobertura del suelo de CLC 18 (izquierda) y SIOSE (derecha) en una zona de la cuenca de La Peraleja.

habitualmente en España a partir de su información litológica debido a la escasez de información de campo suficiente. En la zona de estudio de esta investigación, el grupo hidrológico obtenido con MAGNA es mayoritariamente C.

II. Proyecto LUCDEME

Los tipos de suelo se han obtenido del proyecto LUCDEME (Proyecto de Lucha contra la Desertificación del Mediterráneo) correspondiente al mapa de suelos de la Región de Murcia a escala 1:100000 (Alías *et al.*, 1986). Los mapas de suelos del proyecto LUCDEME presentan los resultados analíticos en función de diversos horizontes correspondientes a 307 perfiles (0-30 y 30-60 cm), y junto a las muestras tomadas en mallas de 3×3 km para la capa arable (0-20 cm aproximadamente). Pérez-Cutillas (2014) realiza un procesado de la base de datos de las determinaciones analíticas de los perfiles de suelo recogidos en el proyecto y propone unos valores promedio de texturas localizados espacialmente según la clasificación FAO (1974). En base a las texturas, y mediante el triángulo textural propuesto por el USDA y los grupos hidrológicos definidos sobre este triángulo por la Norma 5.2-IC del Ministerio de Fomento (2016), la zona de estudio analizada corresponde al grupo hidrológico tipo B.

Información topográfica

En el análisis se ha empleado un modelo digital de elevación (MDE) con resolución espacial de 5×5 m de tamaño de malla, procedente del proyecto nacional PNOA-LiDAR obtenido mediante sensores LIDAR aerotransportados. La densidad mínima de puntos está entre 0.5-4 puntos/m², con algunas regiones en las que la densidad es aún mayor. La precisión altimétrica obtenida es ≤ 20 cm RMSE (error cuadrático medio) en el eje vertical Z. Para caracterizar la pendiente en cada celda se ha usado el método de vecindad de 8 celdas disponible en ARCGIS (Horn, 1981). En la zona montañosa se observan pendientes pronunciadas superiores al 40%, mientras que en las zonas de cultivo la pendiente es uniforme con valores entre 0-2%, que cubren aproximadamente el 70% de la superficie total analizada. Una vez calculada la pendiente en cada una de las celdas, se realiza el promediado para cada uno de los polígonos de uso de suelo en función del uso empleado.

Información para la simulación continua de la humedad en el suelo

Para la realización de las dos simulaciones continuas de la humedad en el suelo, se ha usado el software SWAT (Neitsch *et al.*, 2011), aplicado a una parcela de carácter agrícola, situada en la zona media de una de las cuencas de estudio considerada representativa de los usos de la zona de estudio. La información meteorológica usada ha consistido en series pluviométricas de paso diario, comprendidas entre los años 2009 y 2019 usando un total de 11 estaciones cercanas (Sistema de Información Agrario de Murcia, <http://siam.imida.es>).

Las simulaciones han tenido en cuenta cultivos, periodos de riego y operaciones de cultivo propias de la zona agrícola de estudio, dado que una parte considerable de las parcelas que pertenecen a las cuencas en estudio están bajo agricultura intensiva con dos cosechas al año. En este sentido, por ejemplo, se ha considerado un cultivo de patata, el cual se realiza del 1 de febrero al 10 de julio con una dosis de riego diaria de 2.7 L/ m² y día durante 160 días da lugar a 4320 m³/ha, mientras que se ha considerado otro cultivo de lechuga del 13 de agosto al 13 de octubre, con una dosis de riego diaria de 4.5 L/ m² y día durante 60 días, da como resultado 3000 m³/ha.

Objetivos del estudio

El propósito del estudio es evaluar la influencia en la definición del parámetro de CN en función de:

- (1) cambios en el uso del suelo a lo largo del tiempo, así como de la variación en el nivel de detalle de la cartografía de uso del suelo debido a la consideración de los diferentes niveles de jerarquización existentes desde el nivel 5 de CLC90 y CLC00, al nivel 3 de CLC18, y desde el SIOSE 2014 code al SIOSE 2014 codigee.
- (2) el impacto en las estimaciones de las diversas fuentes de información para determinar los grupos hidrológicos del suelo.
- (3) la valoración de la humedad antecedente resultante de la simulación continua en suelos con riego, permitiendo proponer la corrección en cuanto a la humedad antecedente.

Descripción de las cuencas de estudio

El presente trabajo se centra en el análisis de dos cuencas hidrográficas situadas en la zona oriental del Campo de Cartagena (Sureste de España), cuya escorrentía vierte a la laguna costera del Mar Menor a través de los núcleos urbanos de San Javier y San Pedro del Pinatar, como se muestra en la Figura 2. La Tabla 1 recoge las características generales de las cuencas estudiadas. Dichas cuencas se sitúan en una región semiárida donde las consideraciones relacionadas con la humedad previa del suelo son relevantes en los resultados obtenidos en cuanto a escorrentía generada.

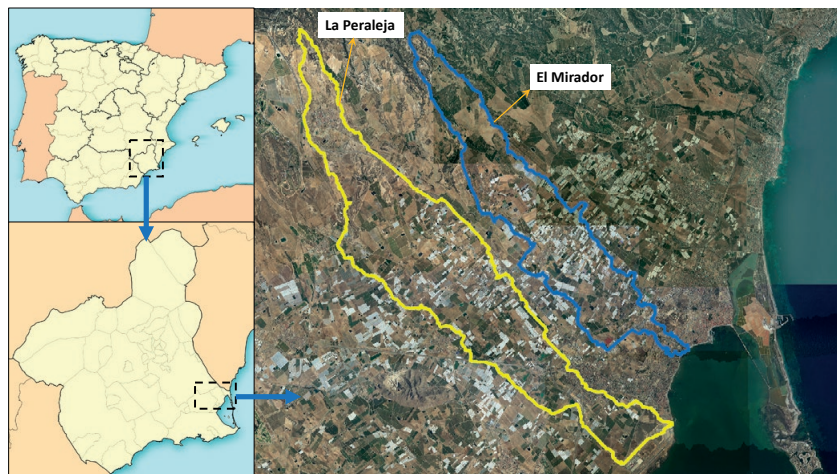


Figura 2 | Vista de las cuencas de las ramblas de La Peraleja y El Mirador.

Tabla 1 | Características de las cuencas hidrográficas estudiadas.

Cuenca	La Peraleja	El Mirador
Área (km ²)	42.2	25.5
Perímetro (km)	73.7	61
Pendiente media (m/m)	0.038	0.045
Altitud máxima (m s.n.m.)	277.8	247.6
Altitud mínima (m s.n.m.)	0	0
Longitud del canal principal (km)	21.8	14.6
Tiempo de concentración (h)	7.65	5.30

Durante los últimos años, el análisis detallado de estas cuencas de estudio se ha visto fuertemente demandado por la Sociedad como consecuencia de las inundaciones sufridas en los núcleos urbanos situados en sus desembocaduras durante diversos eventos registrados desde el año 2015, destacando el episodio de los días 11 a 13 de septiembre de 2019, conocido como DANA de 2019.

RESULTADOS

Cambios identificados en la cobertura del suelo

La Tabla 2 presenta las coberturas del suelo existentes en la cuenca de La Peraleja, caracterizadas por la heterogeneidad de los usos del suelo. En dicha tabla se observan las correspondencias establecidas a través de este estudio entre los usos del suelo de *Corine* y los usos del suelo de SIOSE, tanto codiige como code, con todos sus atributos. Se observan diferencias sustanciales

entre SIOSE codiige, el cual no incluye los atributos y que equivale a un nivel 3 de CORINE, cuya cobertura o clase se recoge en la descripción de dicha tabla, frente al caso de SIOSE code, donde al incluir los atributos produce importantes diferencias entre las superficies asignadas a cada clase. Como ejemplo, el caso que se muestra en la Figura 1 de un polígono que aparece como clase 150 “Asentamiento agrícola y huerta” según SIOSE codiige, que se corresponde con el 211 “Tierras de labor en seco” de CORINE de acuerdo a dicha Tabla 2. Al analizar sus atributos, en cambio, se observa que posee un 85% de frutales cítricos en regadío y un 15% de cultivos herbáceos con regadío no regado, denominado así dado que en el momento de la imagen tomada por el satélite no se detectó suficiente actividad biológica aunque se considera zona de regadío, por lo que acaba correspondiendo con frutales y terrenos regados permanentemente con códigos CORINE 222 y 212, respectivamente. Para la cuenca de El Mirador se ha elaborado una tabla similar a la Tabla 2, adjunta como tabla complementaria T1.

Tabla 2 | Principales usos del suelo en la cuenca de La Peraleja.

Uso suelo (CLC, nivel 3)	Uso suelo (CLC90, nivel 5)	Uso suelo (CLC00, nivel 5)	Uso suelo (SIOSE codiige)	Descripción	CLC 1990 area (%)	CLC 2000 area (%)	SIOSE 2014 codiige area (%)	SIOSE 2014 code area (%)	CLC 2018 area (%)
111	11100	11100	111	Tejido urbano continuo	0.56	0.01	0.76	2.38	3.09
112	11210, 11220	11210, 11220	112, 113	Tejido urbano discontinuo	0.15	1.77	2.64	0.00	0.00
121	12100	12100	121, 130, 140	Zonas industriales o comerciales	0.00	0.00	6.28	3.26	0.94
122	12210, 12220	12210, 12220	161	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	0.00	0.00	2.08	5.34	0.65
124	12400	12400	163	Aeropuertos	0.15	0.15	1.48	0.00	1.50
131	13100	13100	123	Zonas de extracción minera	0.00	0.00	0.00	1.92	0.00
132	13200	13200	171, 172	Escombreras y vertederos	0.00	0.00	1.51	0.00	0.00
141	14100	14100	114	Zonas verdes urbanas	0.00	0.00	0.07	1.20	0.00
142	14200	14200	-	Instalaciones deportivas y recreativas	0.00	0.00	0.00	0.00	4.21
211	21100	21100	150	Tierras de labor en seco	7.03	4.57	0.34	2.04	2.73
212	21210, 21220	21210, 21220	210, 220	Terrenos regados permanentemente	67.61	49.25	33.51	42.46	59.69
222	22210, 22221, 22222, 22223	22210, 22221, 22222, 22223	231, 232	Frutales	8.30	19.51	18.01	27.28	21.93
223	22300	22310, 22320	234, 236	Olivares	0.00	0.00	1.52	1.06	0.00
231	23100	23100	240	Praderas	0.00	0.00	0.00	0.00	2.67
242	24210, 24220, 24230	24211, 24212, 24213	-	Mosaico de cultivos	12.29	20.97	0.00	0.00	1.85
243	24300	24300	250, 260	Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural	0.15	0.13	28.37	0.00	0.72
312	31210, 31220	31210, 31220	312	Bosques de coníferas	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00
321	32110, 32120	32111, 32112, 32121, 32122	-	Pastizales naturales	0.00	0.00	0.00	9.66	0.00
322	32210, 32220	32210, 32220	320	Landas y matorrales	0.00	0.00	2.40	0.00	0.00
323	32310, 32320, 32330	32311, 32312, 32320	330	Vegetación esclerófila	0.66	0.66	0.00	0.00	0.03
333	33310, 33320, 33330	33310, 33320, 33330	354	Espacios con vegetación escasa	3.12	2.99	0.21	0.61	0.00
511	51110, 51120	51110, 51120	514	Cursos de agua	0.00	0.00	0.84	0.00	0.00
512	51210, 51220	51210, 51220	512	Láminas de agua	0.00	0.00	0.00	2.48	0.00

CORINE 2018, que alcanza únicamente el nivel de detalle 3, no identifica diversos usos como el uso invernadero, que se corresponde con la clase 21220 de CORINE 2000, dado que en el nivel 3 solo se identifica la clase 212 denominada terrenos

regados permanentemente. Algo similar ocurre en el caso de SIOSE *codiige*, donde sólo el atributo denominado “es forzado” abreviado mediante FZ identifica la superficie correspondiente a invernaderos que puede estar asociada a varias clases. Asimismo, diversos usos como viñedos (213), olivares (223), frutales (222) o Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes (241) no permiten reconocer si son regados o no, lo cual puede introducir diferencias respecto a lo previsto en la clasificación propuesta en la Norma española de drenaje 5.2-IC. En el presente trabajo se ha asumido que el regadío no regado depende del periodo temporal en que se tomaron las imágenes, y se ha considerado como regado también teniendo en cuenta que existen indicios de infraestructuras para el regadío. Además, dentro de los atributos de SIOSE se recoge el atributo abancalado “ab”, que se ha usado para los casos de pendiente $\geq 3\%$, donde dicho atributo se asocia con la clasificación de la Norma de drenaje española 5.2-IC en la que el cultivo se dispone según las curvas de nivel, quedando referido con la letra “N”.

Información del grupo hidrológico del suelo

En lo que se refiere a los tipos de suelos, la Tabla 3 presenta los tipos de suelo existentes en las cuencas de estudio según el proyecto LUCDEME, donde todos los suelos se clasifican como grupo hidrológico B. En cualquier caso, conviene aclarar que las texturas mayoritarias, franca y franca-limosa se encuentran en una zona cercana a la frontera entre los grupos hidrológicos del suelo (GHS) B y C, por lo que se pueden encontrar en la bibliografía una importante diversidad de ábacos texturales que pueden resultar en ambos GHS. La Figura 3 recoge el tipo de suelo empleando el triángulo de texturas. (Tabla 4 y Figura 4)

Tabla 3 | Tipo de suelo en las cuencas de La Peraleja y El Mirador según LUCDEME.

Nombre del suelo	La Peraleja, Área ocupada (%)	El Mirador, Área ocupada (%)
Litsoles	0.9	3.7
Regosoles calcáreos	2.5	1.9
Xerosoles cálcicos	61.9	50.9
Xerosoles petrocálcicos	34.7	43.5

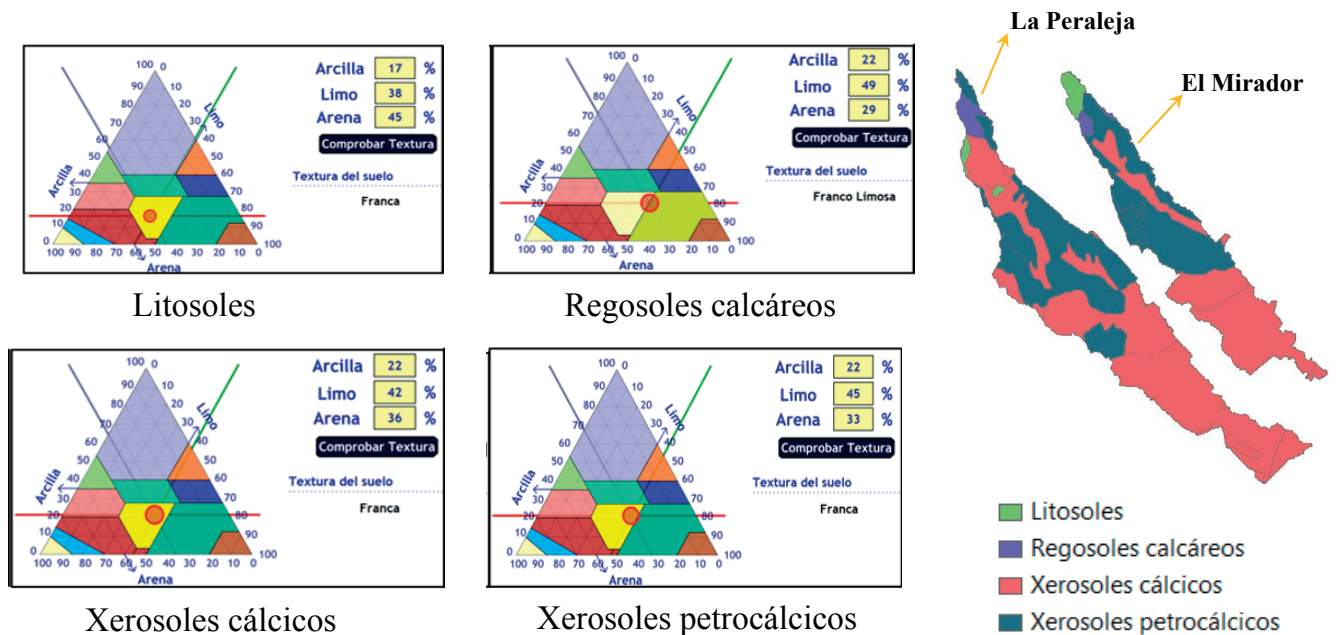


Figura 3 | Tipos de suelos y sus texturas para el cálculo del GHS, así como su localización en las cuencas de estudio según LUCDEME

Tabla 4 | Tipo de suelo en las cuencas de La Peraleja y El Mirador según MAGNA.

Nombre del suelo	La Peraleja, Área ocupada (%)	El Mirador, Área ocupada (%)
Aluviones	4.98	6.25
Areniscas y calcarenitas	0.00	1.14
Glacis de limos rojos y grises	5.24	2.92
Limos rojos y costras (sucina)	36.27	29.98
Margas	1.88	6.72
Glacis. Limos negros y rojos y cantos encostrados	51.61	52.94
Limos y arcillas rojas con episodios de caliche	0.01	0.00
Playas	0.00	0.04

**Figura 4** | Tipos de suelos, así como su localización en las cuencas de estudio según MAGNA.

Número de la curva SCS a partir de las diferentes combinaciones de información

A partir de las fuentes de información existentes recogidas en el apartado anterior, en cuanto a cobertura del suelo, GHS y pendiente, se calcula el CN siguiendo el procedimiento descrito en el manual de referencia nacional en España del Ministerio de Fomento (2016), que fue adaptado por Témez (1978) de acuerdo con la metodología original del CN del SCS (1985) y USDA (2004). Las Figuras 5 y 6 muestran los valores de CN en el tamaño de malla de cada una de las fuentes de información, donde la información disponible MITECO tiene un tamaño de malla de 500×500 m, mientras que las otras tienen un tamaño de malla de 5×5 m.

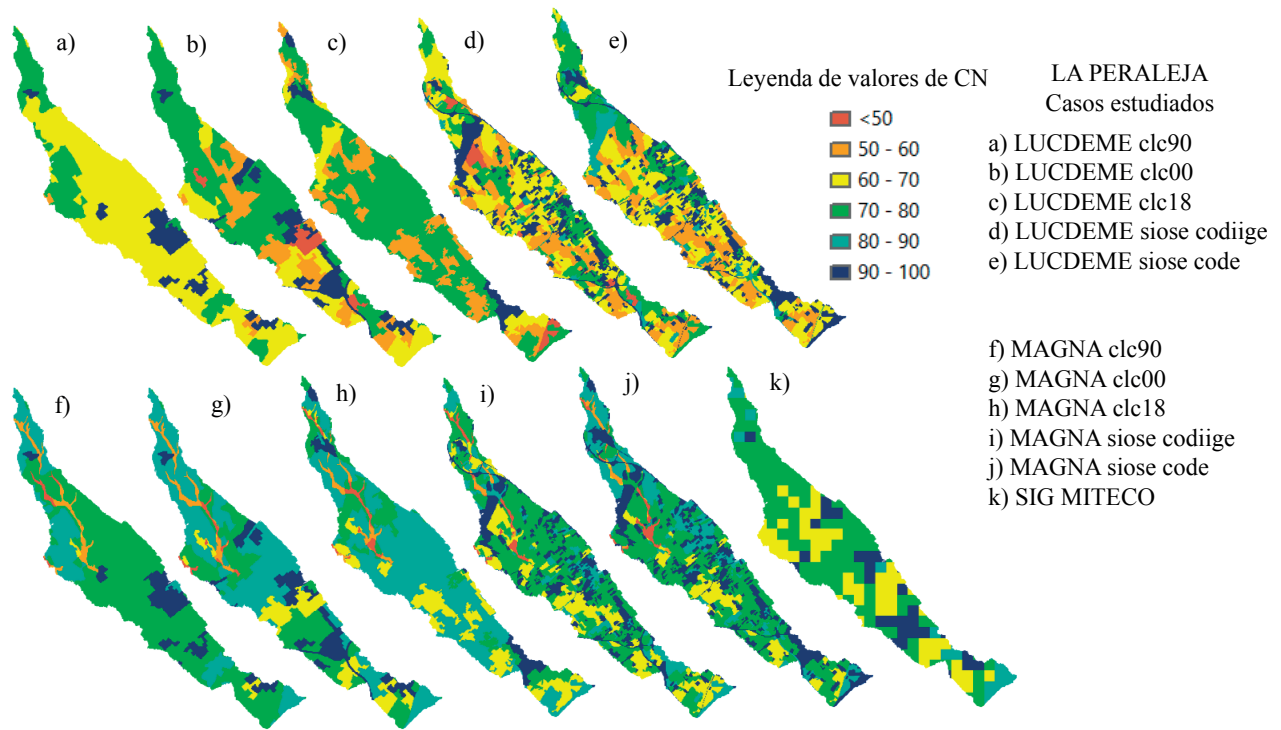


Figura 5 | Mapa de valores de CN en la cuenca de La Peraleja para las 11 combinaciones estudiadas.

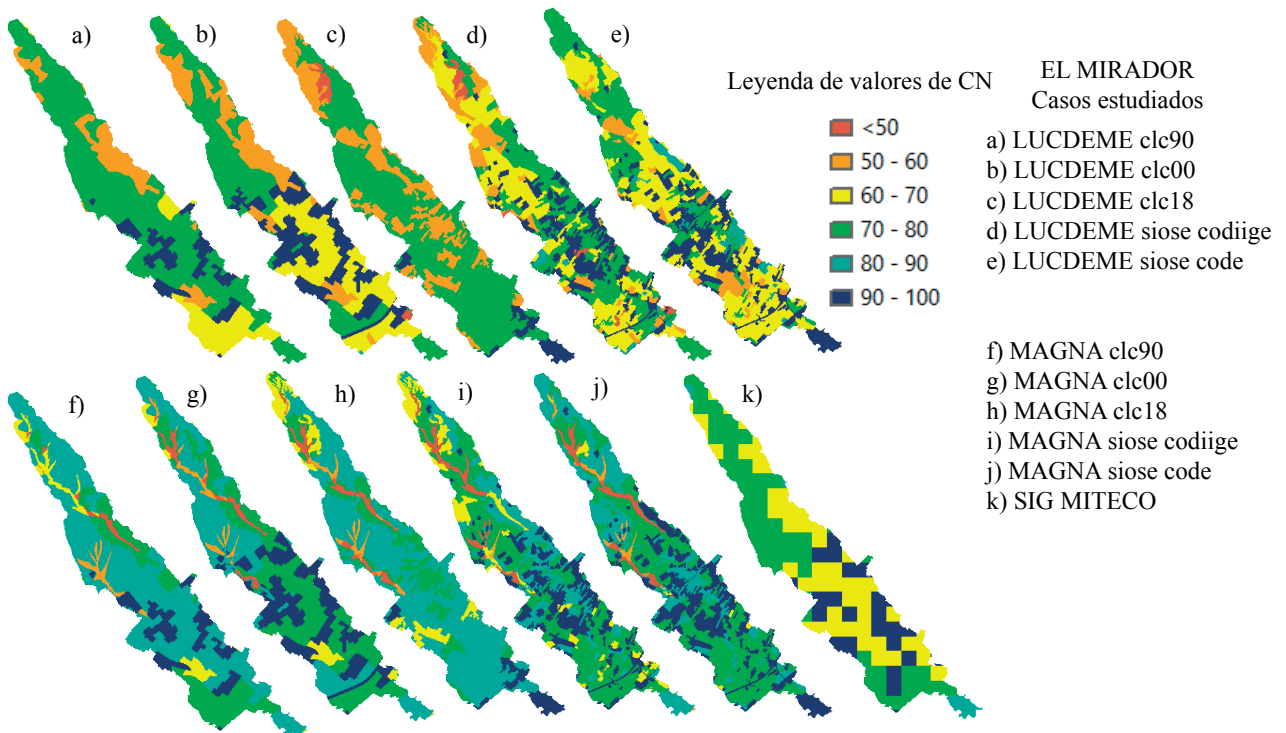


Figura 6 | Mapa de valores de CN en la cuenca El Mirador para las 11 combinaciones estudiadas.

La Figura 7 presenta el valor de CN promediado para cada una de las dos cuencas de estudio a partir de las 11 combinaciones presentadas en las dos figuras anteriores.

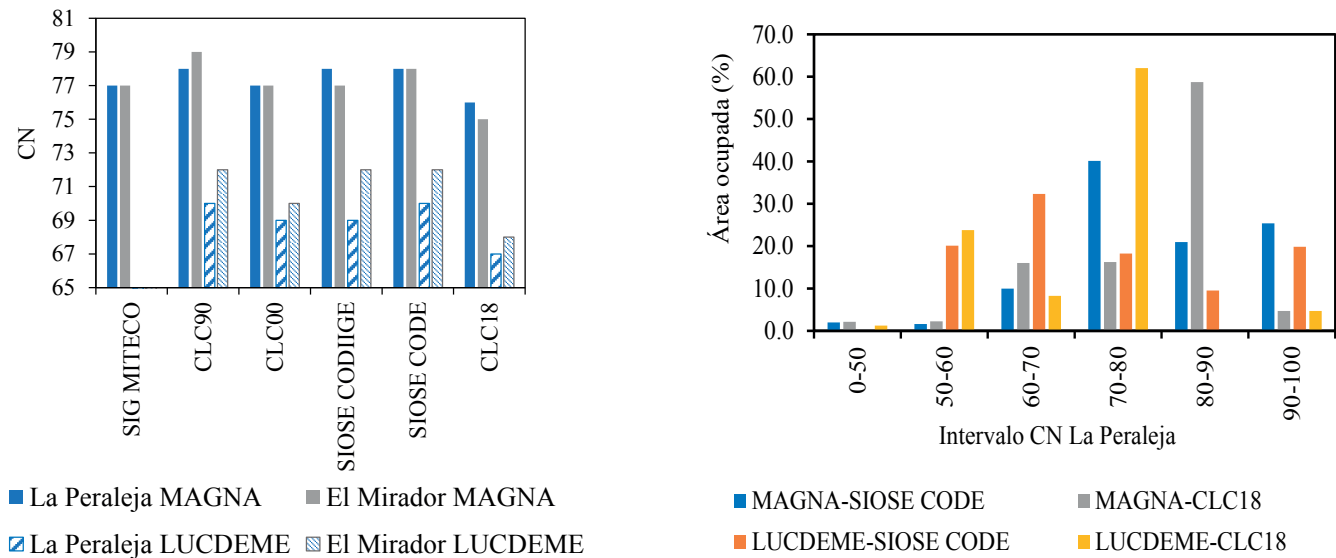


Figura 7 | (Izqda) Valores de CN promediados de la cuenca discretizados por cobertura del suelo y tipo de suelo en las cuencas de La Peraleja y El Mirador. (Dcha) Área asociada a cada rango de CN para los casos CLC18 y Siose code en la cuenca La Peraleja.

Teniendo en cuenta el valor de CN=77 obtenido del SIG del MITECO como referencia, el resto de los valores recogidos en la Figura 7 para la cuenca de La Peraleja presentan diferencias que van desde el +1.3% en el caso de CLC90 y MAGNA, y el -13% en el caso de CLC18 y LUCDEME. En la cuenca de El Mirador, las diferencias son del +2.6% y del -11.7% considerando los mismos casos. En general, los valores calculados con la información geológica del MAGNA suelen obtener valores de GHS que dan lugar a una permeabilidad menor a la obtenida a partir de la información textural del proyecto LUCDEME, con diferencias medias en torno al 9.6%.

Se puede ver en dicha Figura 7 (Izqda.) que no existen diferencias en los valores de CN promedio obtenidos para cada cuenca de estudio, respecto a los valores del SIG MITECO, aunque la resolución espacial de cada caso es diferente, obteniéndose en todos los casos el valor 77.

Se ha realizado además un estudio de la sensibilidad al considerar la pendiente media a escala de polígono de CORINE, de SIOSE y a escala de parcela catastral (esta última con superficies inferiores a las de los polígonos de usos del suelo). De esta forma, la superficie sobre la que se ha calculado el número de curva ha sido la parcela catastral en lugar del polígono. Las diferencias encontradas al hacer esta consideración han sido $\leq 2\%$, por lo que no se considera necesario en este estudio.

La Figura 7 (Dcha.) presenta los porcentajes de superficie asociadas a los diferentes rangos de CN para el caso de la cuenca de La Peraleja donde se observa cómo hay diferencias significativas en los usos del suelo por rangos que se ven agravadas al considerar los grupos hidrológicos B o C, como es el caso de los rangos 70-80 y 80-90.

Influencia de los cultivos intensivos con riego en la humedad antecedente

Se realizaron dos simulaciones continuas de paso diario del balance hídrico en la atmósfera y en una parcela concreta de suelo situada dentro de las cuencas en estudio con el software SWAT (Neitsch *et al.*, 2011) durante el periodo 2009-2019. Dicho software emplea el modelo desarrollado por primera vez para el software SWRRB (*Simulator for Water Resources in Rural Basins*)

(Williams *et al.*, 1985) para el cálculo y actualización de la humedad del suelo. Los datos meteorológicos se han obtenido de las estaciones más cercanas (Sistema de Información Agrario de Murcia, <https://siam.imida.es>). En la simulación se han tenido en cuenta los periodos de riego y las operaciones de cultivo. La simulación calcula la evolución diaria de variables como el contenido de agua en el suelo, θ_t y la evolución del CN, permitiendo la comparación con las tres condiciones de humedad propuestas (CN I, CN II y CN III). Como referencia, en el área de estudio el valor de CN II=72 se corresponde con CN I=51 en condiciones más secas, y CN III=85 en condiciones más húmedas, según las indicaciones de Gray y Burke (1983).

Una parte considerable de las parcelas que pertenecen a las cuencas en estudio están bajo agricultura intensiva con dos cosechas al año. En este sentido, por ejemplo, un cultivo puede ser de patata, se realiza del 1 de febrero al 10 de julio con una dosis de riego diaria de 2.7 L/m² y día durante 160 días da lugar a 4320 m³/ha, mientras que otro cultivo de lechuga del 13 de agosto al 13 de octubre, con una dosis de riego diaria de 4.5 L/m² y día durante 60 días, da como resultado 3000 m³/ha.

Una parte predominante de los suelos de las cuencas en estudio son Xerosoles cálcicos (21.91% de arcilla, 42.05% de marga y 36.05% de arena, Pérez-Cutillas, 2014), clasificados como suelos margosos en base al triángulo textural del USDA. Estos suelos tienen un contenido de humedad volumétrica a capacidad de campo, θ_{fc} , en el rango de 0.1-0.3 m³/m³ (0.25 como valor de simulación); y en el punto de marchitez permanente, θ_{wp} , 0.05-0.2 (0.09 y 0.11 como valores para cada una de las dos simulaciones). Por lo tanto, teniendo una capacidad de retención de agua en el rango de 0.05-0.25 (0.14 y 0.16 como valores de simulación) m³/m³. La humedad residual es de unos 0.01 m³/m³ y la saturación es de unos 0.35 m³/m³ (Mirás-Avalos *et al.*, 2019; Bayona-Gambín, 2009; García-Aróstegui *et al.*, 2012).

Los resultados obtenidos en la parcela de suelo elegida para el cálculo cultivada y sometida a regadío, respecto a las dos simulaciones realizadas da como resultados valores de percentil 25, 50 y 75 para la capacidad de retención de 0.14 y 0.16 del suelo han sido de 67.8, 71.8 y 78.4 para el primer caso y 64.4, 68.5 y 76.0 respectivamente para el segundo caso simulado, como se muestra en la Figura 8. Todos estos valores están próximos a la hipótesis de humedad del suelo CN II. Esto difiere de la hipótesis de la norma de drenaje donde se propone partir de un número de curva aproximado a valores de humedad seca CN I.

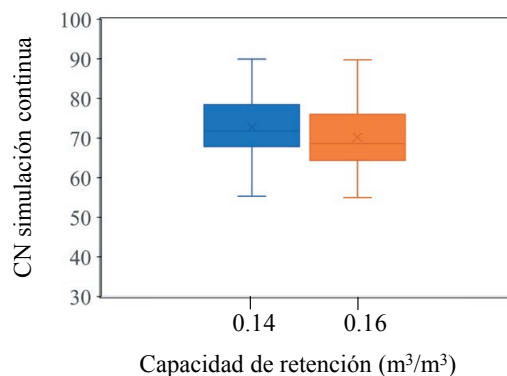


Figura 8 | Diagrama de cajas y bigotes de los valores calculados del número de curva en el periodo de simulación 2009-2019 para dos hipótesis de retención del suelo en una parcela de suelo cultivado con regadío situada en las cuencas de estudio obtenido con SWAT.

CONCLUSIONES

Los cambios en la cobertura del suelo afectan a la estimación de la lluvia neta en los episodios de precipitación. En el caso concreto de este estudio de dos cuencas semiáridas, los cambios en la cobertura del suelo en el periodo 1990-2018 observados entre CLC00 y SIOSE code, afectaron principalmente a una interpretación de uso que ha cambiado de mosaico de cultivos (242) y terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural (243) a otros como el uso frutales (222) y

terrenos regados permanentemente (212), según el análisis mostrado en la Tabla 2 para la cuenca de La Peraleja. Por otro lado, se ha mejorado la detección de las láminas de agua o embalses y se ha observado una disminución leve de las tierras de labor en secano (211). Es importante recordar que hoy en día la única clasificación que alcanza el nivel de detalle denominado nivel 5 de CLC00 es el SIOSE code con sus atributos.

En cuanto a la obtención del número de curva CN, debido a las diferentes fuentes de datos usadas en el presente trabajo, la mayor variabilidad en su estimación se obtiene al considerar tipo B o C como GHS, estando la base de datos de referencia en España del lado de la seguridad, como se puede observar en la Figura 7. En el caso de comparar distintos GHS, las diferencias entre CLC18 LUCDEME y SIOSE code MAGNA, por ejemplo, serían del orden del 16.4% para La Peraleja y 14.7% para El Mirador, según los valores presentados en la Figura 7. Se observan diferencias significativas, por lo que el GHS de suelo a considerar es de máxima importancia. Para el uso del suelo MAGNA, las diferencias al considerar CLC18 o SIOSE14 code están en el 2.6% y el 4% en las cuencas de La Peraleja y El Mirador, respectivamente. En el caso de considerar LUCDEME, estas diferencias están entre el 4.5 y el 5.9% para dichas cuencas. Si bien las diferencias no son muy elevadas, éstas se deben en su mayoría a la imposibilidad de distinguir el uso invernadero, así como la no distinción de regadío en algunos de los usos. Finalmente, la resolución en el cambio de usos del suelo, entre CORINE y SIOSE, que se materializa en el tamaño de los polígonos tiene una influencia importante como se ha podido observar en la Figura 1.

En lo que se refiere a la humedad antecedente a considerar en áreas cultivadas del sureste, se ha realizado una simulación continua con los datos de registro de precipitación y riego en parcelas con regadío, observándose cómo los valores de humedad antecedente del suelo se traducen en valores de número de curva cercanos a la humedad media sin corregir CN(II).

AGRADECIMIENTOS

Los resultados presentados en este artículo proceden de la actividad investigadora del Grupo de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Medioambiental (Hidr@m) de la UPCT fruto del Convenio entre la Confederación Hidrográfica del Segura, O.A., y la Universidad Politécnica de Cartagena para el estudio e investigación de actuaciones y medidas para la reducción del riesgo de inundación de áreas urbanas en el Campo de Cartagena y su armonización con el Plan de Vertido Cero del Mar Menor.

REFERENCIAS

- Alias, L.J., Ortiz, R., Hernández, J., Martínez, J., Linares, P., Alcaraz, F., Cámara, P. 1988. *Proyecto Lucdeme. Map of soils*, 1, 100000.
- Aragón, I.A., Latorre, S.M., Jover, J.C., González-Jiménez, Á., Barbero, R.E. 2009. El nivel 3 de la nomenclatura CORINE y la pérdida de representatividad de algunas clases importantes en el clc06 de la CA Aragón. *XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección*, 23-26, 393-396.
- Bayona-Gambín, J.M. 2009. *Efecto combinado de riego deficitario y de la calidad del agua sobre la acumulación de sales en el suelo bajo riego localizado*. Trabajo Fin de Carrera.
- Campón, L.F., Rosado, E.Q., Durán-Barroso, P. 2015. Análisis de la variabilidad en la estimación del umbral de escorrentía en función de las distintas fuentes de información disponibles. *Proc., IV Jornadas de Ingeniería del Agua*, 10.
- Del Bosque González, I., Arozarena Villar, A., Villa Alcázar, G., Valcárcel Sanz, N., Porcuna Fernández Monasterio, A. 2005. *Creación de un sistema de información geográfico de ocupación del suelo en España. Proyecto SIOSE*.
- Durán-Barroso, P., González, J. 2015. *Variabilidad de los grupos hidrológicos del método del número de curva del NRCS (NRCS-CN)*.

- European Environment Agency (EEA). 2002. *CORINE Land Cover Update I&CLC2000 project Technical Guidelines*. Final version.
- European Environment Agency (EEA). 2018. *Corine Land Cover (CLC) 2018, Version 20b2*. Release Date: 21-12-2018. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>.
- FAO-UNESCO, 1974. *Soil Map of the World*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma.
- Ferrér, M., Rodríguez, J., Estrela, T. 1995. Generación automática del número de curva con sistemas de información geográfica. *Ingeniería del agua*, 2(4), 43-58. <https://doi.org/10.4995/ia.1995.2686>
- Ferrer-Julíá, M. 2003. *Análisis de Nuevas Fuentes de Datos para la Estimación del Parámetro Número de Curva: Perfiles de Suelos y Teledetección*. CEDEX, Madrid, España. ISBN 84-7790-389-1.
- García-Aróstegui, J.L., Aragón-Rueda, R., Hornero-Díaz, J., Trujillo-Toro, C., Guardiola-Albert, C., Fornés-Azcoiti, J.M., Candela-Lledó, L., Jiménez-Martínez, J., Elorza-Tenreiro, F.J., Soler-Manuel, M., Del Castillo-Sánchez, V., González-Barberá, G., García-García, J., Erena-Arrabal, M. 2012. *Caracterización del acuífero Cuaternario del Campo de Cartagena y modelización matemática en el contacto con el Mar Menor*. Informe final de resultados del proyecto financiado por la Fundación Séneca, Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia.
- Gray, D.D., Burke, C.B. 1983. *Occurrence Probabilities of Antecedent Moisture Condition Classes in Indiana*.
- Hernández, J.D. 2008. Armonización de las bases de datos de ocupación del suelo y su importancia en la evaluación de parámetros e indicadores medioambientales. *Congreso Nacional de Medio Ambiente. Cumbre Del Desarrollo Sostenible*.
- Hope, A.S., Schulze, R.E. 1982. Improved estimates of stormflow volume using the SCS curve number method. *Rainfall-runoff relationship/proceedings, International Symposium on Rainfall-Runoff Modeling*, May 18-21, Mississippi State University, Mississippi State, Mississippi, USA.
- Horn, B.K.P. 1981. Hillshading and the reflectance map. *Proc. IEEE*, 69(1), 14-47. <https://doi.org/10.1109/PROC.1981.11918>
- Iniesto Alba, M.J., Segura Redondo, M., Carballo Cruz, P. *Spanish geological mapping at scale 1/50.000: from the paper to the geoinformatics*.
- López-Olmedo, F. 2017. *Las series cartográficas: el Mapa Geológico*.
- Martí, I.C. 2013. Elaboración y validación de un modelo jerárquico derivado de SIOSE. *Revista de Teledetección*, 39, 5-21. <http://www.aet.org.es/?q=revista39-2>
- Martínez, P. 2006. *Metodología para el estudio de avenidas en ramblas de cuencas mediterráneas utilizando sistemas de información geográfica y modelos semi-distribuidos*. Trabajo Fin de Carrera.
- Ministerio de Fomento. 2016. *Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, por la que se aprueba la norma 5.2 - IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras*. Gobierno de España.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2011. *Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*. Madrid, España; ISBN: 978-84-491-1136-5.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2014. *Aplicación para consulta de los mapas de caudales máximos (CAUMAX, v2.3)*. NIPO:770-11-273-7.
- Mirás-Avalos, J.M., Rubio-Asensio, J.S., Ramírez-Cuesta, J.M., Maestre-Valero, J.F., & Intrigliolo, D.S. (2019). Irrigation-Advisor—A Decision Support System for Irrigation of Vegetable Crops. *Water*, 11(11), 2245. <https://doi.org/10.3390/w11112245>
- Mockus, V. 1972. *Estimation of direct runoff from storm rainfall*. SCS national engineering handbook. Section, 4, 10-1.
- Mongil, J., Navarro, J. 2012. Infiltration and soil hydrological groups on the slopes of the limestone moors (Valladolid, Spain). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 38(1), 131-153. <https://doi.org/10.18172/cig.1279>

- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R. 2011. *Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009*. Texas Water Resources Institute.
- NRCS. 2007. *National Engineering Handbook, Part 630, Hydrology*. Washington D.C.
- Pérez Cutillas, P. 2014. *Modelización de propiedades físicas del suelo a escala regional. Casos de estudio en el Sureste Ibérico*. Proyecto de investigación. Tesis doctoral.
- Ponce, V.M., Hawkins, R.H. 1996. Runoff curve number: Has it reached maturity? *Journal of hydrologic engineering*, 1(1), 11-19. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(1996\)1:1\(11\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(1996)1:1(11))
- Témez, J.R. 1978. *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. M.O.P.U. Dirección General de Carreteras, Madrid.
- Trueba, C., Millán, R., Schmid, T., Roquero, C., Magister, M. 1999. Base de datos de propiedades edafológicas de los suelos españoles. *Informes Técnicos*, 882.
- U.S. Dept. of Agriculture (USDA). 2004. *Estimation of direct runoff from storm rainfall. Chapter 10, part 630*. National engineering handbook. USDA Natural Resource Conservation Service (NRCS), Washington, DC.
- U.S. Dept. of Agriculture (USDA). 2017. *Soil survey manual. Chapter 3*. USDA Handbook 18. USDA Natural Resource Conservation Service (NRCS), Soil Science Division Staff, Washington, DC.
- Williams, J.R., Nicks, A.D., Arnold, J.G. 1985. Simulator for water resources in rural basins. *Journal of Hydraulic Engineering* 111(6), 970-986. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1985\)111:6\(970\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1985)111:6(970))