



FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL *Una manera de hacer Europa*

# Informe sobre el análisis de afecciones de diferentes actuaciones en la zona sur del Mar Menor sobre aportaciones a la laguna de agua, sedimentos y nitrógeno



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Instituto de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente

Valencia, diciembre de 2017

# Índice

1.-	INTRODUCCIÓN .....	4
1.1.-	MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS .....	4
1.2.-	EQUIPO DE TRABAJO .....	4
2.-	INFORMACIÓN METEOROLÓGICA .....	5
2.1.-	CONSIDERACIONES GENERALES .....	5
2.2.-	PRECIPITACIÓN .....	5
2.3.-	TEMPERATURA.....	5
2.4.-	EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL .....	6
3.-	INFORMACIÓN DEL CICLO HIDROLÓGICO .....	7
3.1.-	CONSIDERACIONES GENERALES .....	7
3.2.-	HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.....	7
3.3.-	HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA .....	8
3.4.-	INFORMACIÓN ESPACIAL NECESARIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO .....	8
3.4.1.-	<i>Modelo de elevación digital.....</i>	8
3.4.2.-	<i>Parámetros derivados del MED .....</i>	9
3.4.3.-	<i>Usos del suelo .....</i>	10
3.4.4.-	<i>Parámetros derivados de los usos del suelo .....</i>	12
3.4.5.-	<i>Parámetros del suelo.....</i>	14
3.4.6.-	<i>Parámetros geológicos .....</i>	15
3.4.7.-	<i>Parámetros geomorfológicos.....</i>	16
3.4.8.-	<i>Superficie de afloramiento de Cuaternario.....</i>	16
3.4.9.-	<i>Riego .....</i>	17
3.5.-	DELIMITACIÓN DE SUBCUENCAS.....	18
4.-	INFORMACIÓN DEL CICLO DE SEDIMENTOS .....	20
4.1.-	CONSIDERACIONES GENERALES .....	20
4.2.-	INFORMACIÓN ESPACIAL NECESARIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CICLO DE SEDIMENTOS.....	20
5.-	INFORMACIÓN DEL CICLO DE NITRÓGENO .....	22
5.1.-	CONSIDERACIONES GENERALES .....	22
5.2.-	DATOS OBSERVADOS DE CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	22
5.3.-	INFORMACIÓN ESPACIAL NECESARIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CICLO DE NITRÓGENO .....	23

---

5.3.1.-	<i>Contenido en nitrógeno orgánico del suelo.....</i>	24
5.3.2.-	<i>Parámetros del suelo.....</i>	24
5.3.3.-	<i>Factor de cubierta.....</i>	25
5.3.4.-	<i>Parámetros de los usos del suelo en modo cultivos.....</i>	26
5.4.-	INFORMACIÓN DE ENTRADA.....	27
5.4.1.-	<i>Dosis de abonado.....</i>	27
5.4.2.-	<i>Deposición atmosférica.....</i>	28
6.-	CONCLUSIONES.....	30
	ANEXO 1. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....	32

# 1.- INTRODUCCIÓN

## 1.1.- Motivación y objetivos

A petición del Gobierno de la Región de Murcia, el objetivo de este informe es la recopilación de la información necesaria para la implementación del modelo hidrológico TETIS en las cuencas del Sur de la laguna del Mar Menor, incluyendo tanto el ciclo de sedimentos como el ciclo de nitrógeno. Dadas las heterogeneidades espacial y temporal de los inputs y de las características de los procesos involucrados, el modelo será necesariamente un modelo distribuido en el espacio con discretización espacial igual o inferior a 100 m y con discretización temporal diaria, por lo que la información recopilada será espacial y temporal. Equipo de trabajo

## 1.2.- Equipo de trabajo

Este informe ha sido elaborado por el Grupo de Investigación en Modelación Hidrológica y Ambiental (GIMHA, <http://llovvia.dihma.upv.es>) del Instituto Universitario de Investigación de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA, <http://www.iiama.upv.es>) de la Universitat Politècnica de València (, <http://www.upv.es>), dirigido por D. Félix Francés García, Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P., catedrático de universidad.

## 2.- INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

### 2.1.- Consideraciones generales

Este capítulo recoge la información de entrada necesaria para el funcionamiento del modelo: las series de precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial. A continuación, se describen las fuentes de información de cada uno de los datos y el método de cálculo empleado en el caso de ser necesario.

En el fichero en formato Excel “Datos Meteorológicos.xlsx” se encuentran los datos diarios de precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial de la zona de estudio para el periodo 1971-2016.

### 2.2.- Precipitación

La principal fuente de información ha sido la base de datos Spain02 desarrollada por el Grupo de Meteorología de Santander a partir de los datos registrados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). La versión empleada ha sido la “VERSION v4”, que proporciona una malla de resolución 0,11° para el periodo temporal 1971-2010 (Herrera et al., 2016).

A pesar de abarcar hasta el año 2010, se detectaron incoherencias en los años 2008 a 2010, por lo que la serie fue completada en el periodo 2008-2016 con la serie de precipitación de la estación meteorológica de Cartagena (7012C) proporcionada por la delegación AEMET de la Región de Murcia. Puesto que los datos de Spain02 no son puntuales, sino datos medios areales fue necesario realizar una corrección de la precipitación de la estación de Cartagena mediante un coeficiente de reducción areal (Témez, 1991). Los datos medios mensuales pueden observarse en la Figura 1.

### 2.3.- Temperatura

De igual forma que en el caso de las series de precipitación, se ha empleado la base de datos Spain02 para el periodo 1971-2007 y se ha completado hasta el año 2016 con la estación meteorológica de Cartagena (AEMET). Los datos medios mensuales pueden observarse en la Figura 1.

## 2.4.- Evapotranspiración potencial

Dada la ausencia de medidas ha sido necesario el cálculo de la evapotranspiración potencial a partir de los datos de temperatura. Para ello se ha empleado la ecuación de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985):

$$ET_0 = 0.0135 (t_{med} + 17.78) R_s$$

donde  $ET_0$  es la evapotranspiración potencial (mm/día),  $t_{med}$  la temperatura media (°C) y  $R_s$  es la radiación solar incidente (mm/día), calculada a partir de la radiación solar extraterrestre, que se encuentra tabulada en función de la latitud y el mes del año.

En la Figura 1, se observan los valores de la evapotranspiración media mensual resultante de aplicar la formulación anterior.

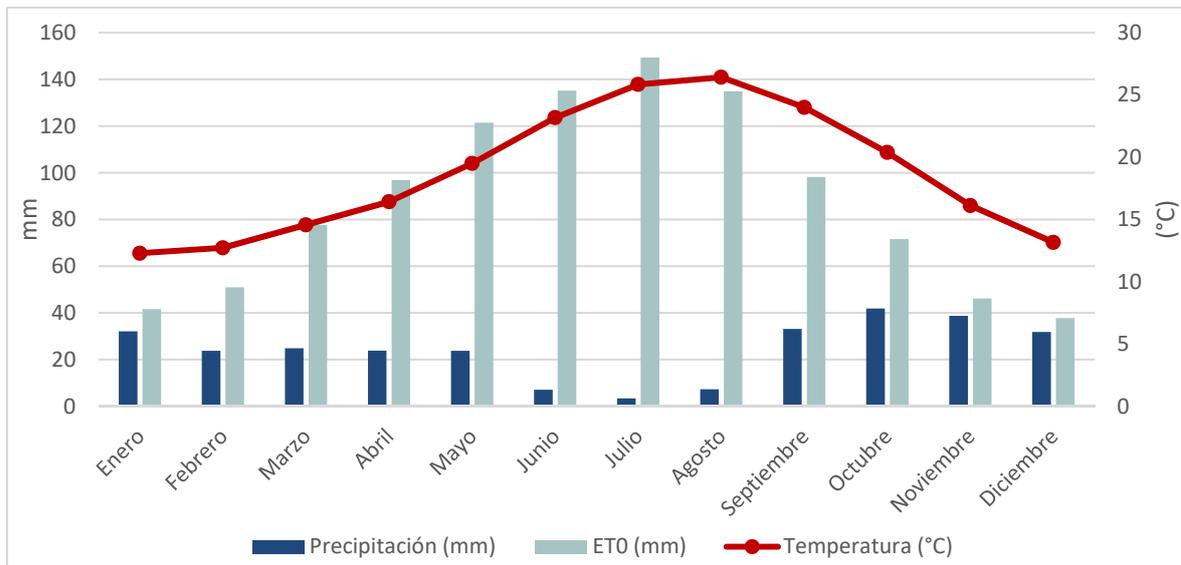


Figura 1 Precipitación, temperatura y evapotranspiración media mensual

## 3.- INFORMACIÓN DEL CICLO HIDROLÓGICO

### 3.1.- Consideraciones generales

La información recogida en este capítulo se divide en información general sobre la hidrología superficial y subterránea, e información necesaria para la implementación del modelo. La información espacial necesaria para la implementación. El fichero denominado “FactorVegetación\_Interceptación.xlsx” contiene los valores mensuales o diarios, en el caso de los usos del suelo que funcionan en modo cultivos, así como la interceptación máxima. Puesto que la zona de estudio presenta cultivos de regadío y cítricos, también ha sido necesario recopilar la información sobre las dotaciones de riego de la zona. Esta información se encuentra en el fichero en formato Excel denominado “Riego.xlsx”. Por último, los mapas de parámetros calculados se proporcionan en formato ascii, sistema de referencia ETRS89 proyección UTM 30N. El listado de mapas es:

- Modelo de elevación digital (med.asc)
- Direcciones de drenaje (dd.asc)
- Celdas drenantes acumuladas (cda.asc)
- Pendiente en m/m (pendiente.asc)
- Velocidad del flujo en ladera en m/s (vel\_flujo.asc)
- Usos del suelo (usos\_suelo.asc)
- Almacenamiento estático máximo en mm (Hu.asc)
- Capacidad de infiltración en mm/h (ks.asc)
- Capacidad de percolación en mm/h (kp.asc)
- Acuífero Cuaternario (Cuaternario.asc)
- Zonas de riego (zonas\_riego.asc)

### 3.2.- Hidrología superficial

En la zona de estudio no existen registros de caudal, ya que se trata de una zona con pequeñas cuencas con cursos de agua no permanentes. Por este motivo, se ha recurrido a la información de los estudios de inundabilidad llevados a cabo por la Consejería de Agua, Agricultura y Medio

Ambiente de la Región de Murcia en el entorno de la urbanización Los Nietos (CARM, 2016a) y las urbanizaciones Islas Menores y Mar de Cristal (CARM, 2016b). A partir de estos estudios será posible calcular el caudal correspondiente a un periodo de retorno de 25 años, dato que será necesario para la implementación del modelo.

### 3.3.- Hidrología subterránea

Tal y como se recoge en el *Anejo 12 del Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21: Caracterización de las masas de agua de la Demarcación Hidrológica del Segura* (CHS, 2015); la masa de agua subterránea de la zona de estudio es el Campo de Cartagena, cuyo código es 070.052. Ésta se trata de un sistema multicapa constituido por cuatro acuíferos relacionados hidráulicamente entre sí. También se dispone del estudio realizado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) en 1991, *Estudio hidrogeológico del Campo de Cartagena* (IGME, 1991). En él se caracterizan las conexiones entre los diferentes acuíferos y la conexión con el Mar Menor, resultando el acuífero Cuaternario el único conectado a la laguna. Por último, se ha tenido acceso al estudio realizado por la Comunidad de Regantes Arco Sur *Cuantificación de la descarga subterránea al Mar Menor mediante modelización hidrogeológica del acuífero superficial Cuaternario* (Arco Sur, 2017) que ha servido para complementar la información de IGME (1991) sobre los bombeos y las conexiones del acuífero Cuaternario con los acuíferos infrayacentes y con la laguna.

### 3.4.- Información espacial necesaria para la implementación del modelo hidrológico

A continuación, se describe la información sobre los parámetros que caracterizan la zona de estudio, así como la metodología de cálculo de los mismos, en caso de ser necesario, y la información referente a las zonas de riego.

#### 3.4.1.- Modelo de elevación digital

Como modelo de elevación digital (MED) se ha empleado el del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) con paso de malla de 5 m (CNIG, 2016b). Dadas las características de la zona y a pesar del incremento en el tiempo de computación, emplear este paso de malla era la única opción de reproducir de forma adecuada la red de drenaje. Este MED ha sido corregido empleando

un mapa en formato vectorial de la red de drenaje, que ha sido digitalizada a partir del Lidar del CNIG de 2016 ( 0.5 puntos/m<sup>2</sup>) (CNIG, 2016a) y diversas visitas de campo. En la Figura 2 se encuentra representado el modelo de elevación digital corregido y sobre él, la red de drenaje digitalizada.

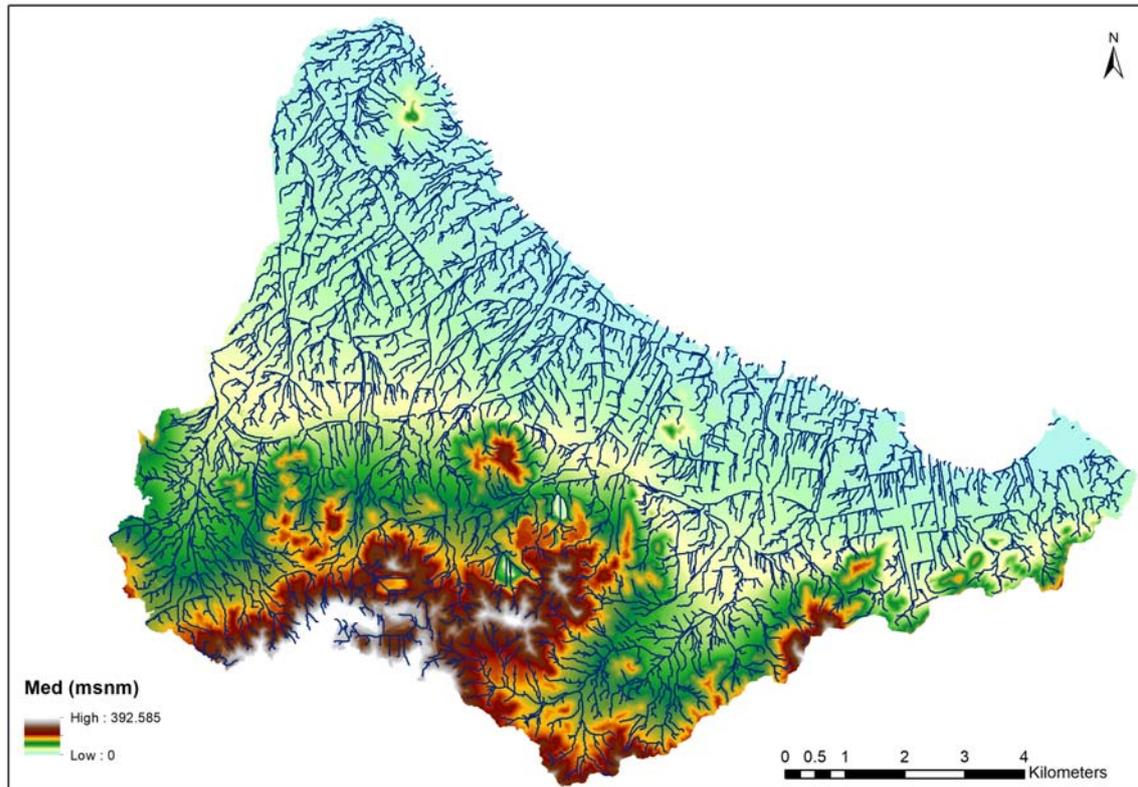


Figura 2 Modelo de elevación digital y red de drenaje

### 3.4.2.- Parámetros derivados del MED

Los mapas necesarios para el funcionamiento del modelo y cuyo cálculo depende del MED son: el mapa de direcciones de drenaje, el de celdas drenantes acumuladas (Figura 3a), el mapa de pendientes (Figura 3b) y el de velocidad de flujo en ladera. Los tres primeros se obtienen fácilmente mediante un Sistema de Información Geográfica, pero en este caso, dada la complejidad de la red de drenaje y a pesar de haber corregido el MED, ha sido necesario modificar manualmente el mapa de direcciones de drenaje en algunos puntos. El mapa de velocidad de flujo en ladera se ha obtenido mediante la ecuación:

$$v_l = 1.4142 \sqrt{S_0}$$

donde  $v_l$  es la velocidad del flujo en ladera (m/s) y  $S_0$  es la pendiente del terreno (m/m).

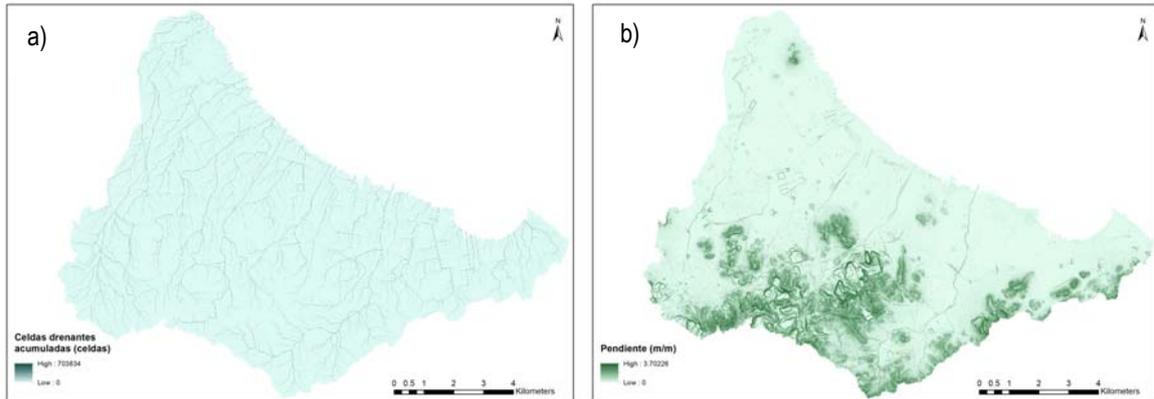


Figura 3 Mapa de celdas drenantes acumuladas (a) y mapa de pendientes (b)

### 3.4.3.- Usos del suelo

Con el objetivo de poder emplear la información recogida en los estudios de inundabilidad anteriormente mencionados, y tras comprobar que no existen cambios significativos en la zona de estudio, los usos del suelo empleados son los correspondiente al CORINE Land Cover de 2006 (EEA, 2006). Tal y como se observa en la Figura 4, predomina el cultivo de hortalizas de regadío y los árboles frutales, lo que supone casi un 50% de la superficie de la zona de estudio (Tabla 3-1).

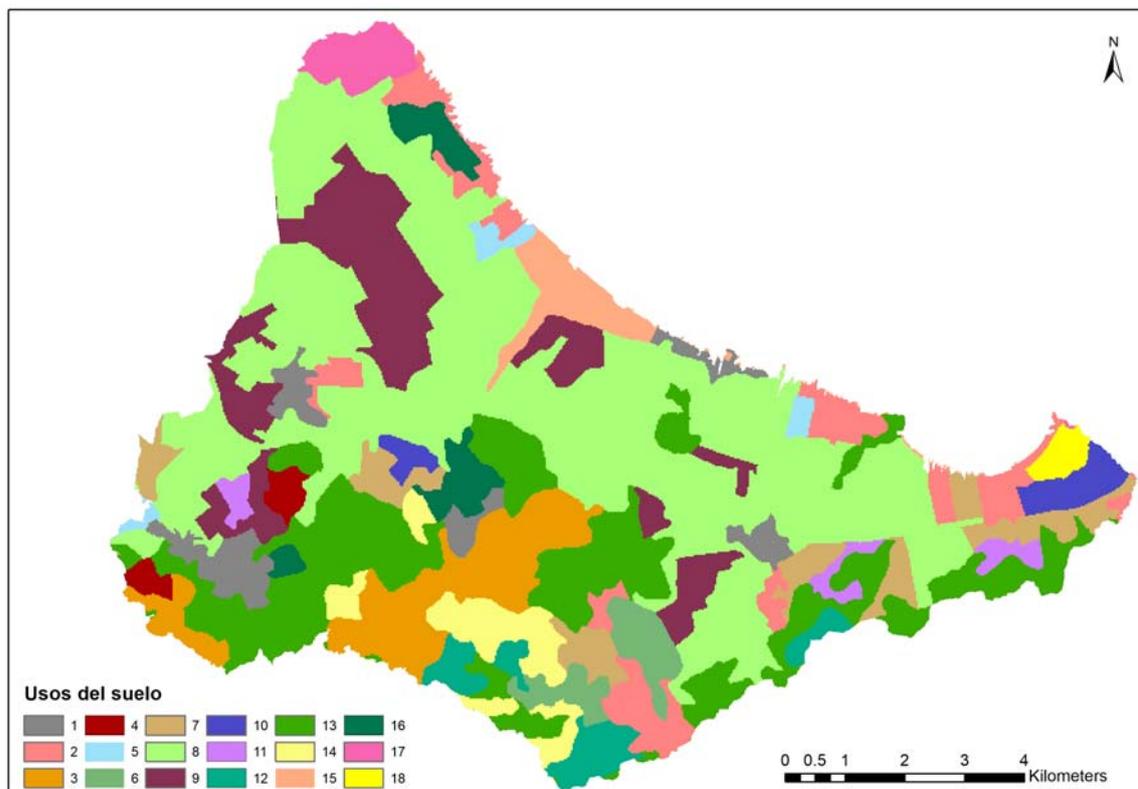


Figura 4 Mapa de usos del suelo

Tabla 3-1 Usos del suelo, superficie y porcentaje de ocupación en la zona de estudio

Código	Uso del suelo	Superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
1	Tejido urbano continuo	3.35	3.33
2	Tejido urbano discontinuo	5.23	5.20
3	Zonas de extracción minera	6.05	6.01
4	Escombreras y vertederos	0.84	0.83
5	Zonas en construcción	0.78	0.78
6	Instalaciones deportivas y recreativas	2.46	2.44
7	Tierras de labor en secano	4.53	4.50
8	Terrenos regados permanentemente	36.91	36.67
9	Árboles frutales	9.54	9.48
10	Mosaico de cultivos	1.51	1.50
11	Terrenos principalmente agrícolas pero con importantes espacios de vegetación natural	1.18	1.17
12	Bosque de coníferas	2.37	2.35
13	Vegetación esclerófila	16.14	16.04
14	Matorral boscoso de transición	3.18	3.16
15	Playas, dunas y arenales	2.18	2.17
16	Espacios de vegetación escasa	2.22	2.21
17	Marismas	1.57	1.56
18	Salinas	0.61	0.61

Además, ha sido necesario conocer qué cultivos predominan en la zona de estudio, información que se ha obtenido mediante la consulta a la comunidad de regantes Arco Sur. Tal y como se observa en la Figura 5, predomina el cultivo de brócoli, melón, lechuga y alcachofa, y en cuanto a cultivo arbóreo, predominan los cítricos. A pesar de ser la alcachofa un cultivo importante, se ha descartado su inclusión en el modelo por ser un cultivo bianual, lo que complica significativamente su adecuada modelización.

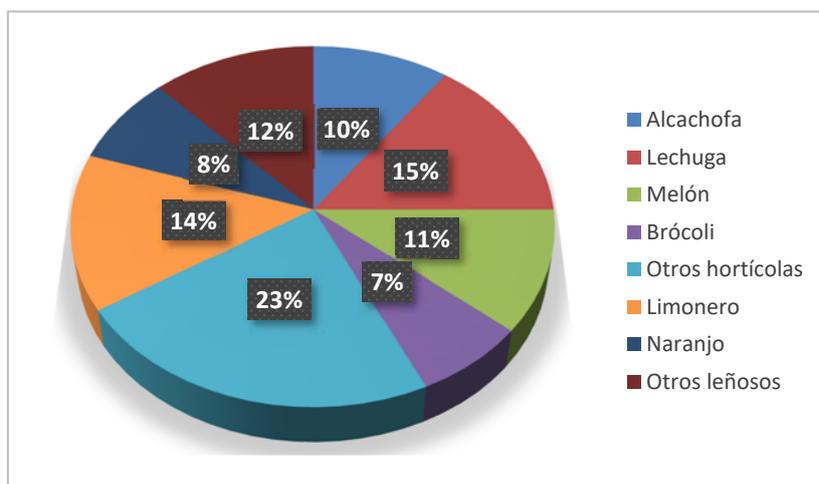


Figura 5 Distribución de cultivos en la zona de estudio

### 3.4.4.- Parámetros derivados de los usos del suelo

Los parámetros derivados de los usos del suelo son: el factor de vegetación, la interceptación máxima, la profundidad de raíces y las abstracciones iniciales. Los dos últimos, no se emplean directamente en el modelo, pero son necesarios para calcular el parámetro de almacenamiento estático máximo. Las abstracciones iniciales, presentan una componente dependiente del uso del suelo y otra de la pendiente.

En el cálculo del factor de vegetación, se ha empleado la metodología propuesta por la Food and Agriculture Organization (FAO) en su Documento No.56, *Estudio FAO Riego y Drenaje, Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (FAO, 2006). En la Tabla 3-2 se observan los valores medios mensuales empleados para cada uno de los usos del suelo, salvo para los usos del suelo tierras de labor en secano (uso 7) y hortalizas de regadío (uso 8).

Tabla 3-2 Factor de vegetación mensual según usos del suelo

Uso	Ene.	Feb.	Mar.	Abril	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
6	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
10	0.2	0.2	0.37	1.04	1.15	1	0.32	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
11	0.6	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.8	0.8	0.8	0.75	0.7	0.6
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
14	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
16	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2
17	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

En el caso de los hortalizas de regadío y las tierras de labor en secano, se empleará el sub-modelo de cultivos del modelo TETIS, por lo que el factor de vegetación en vez de tomar un valor medio mensual, toma un valor diario. En la Figura 6 se observa la variación anual del factor de vegetación en el caso de los hortalizas de regadío (brócoli, melón y lechuga) y el cultivo de secano (cebada).

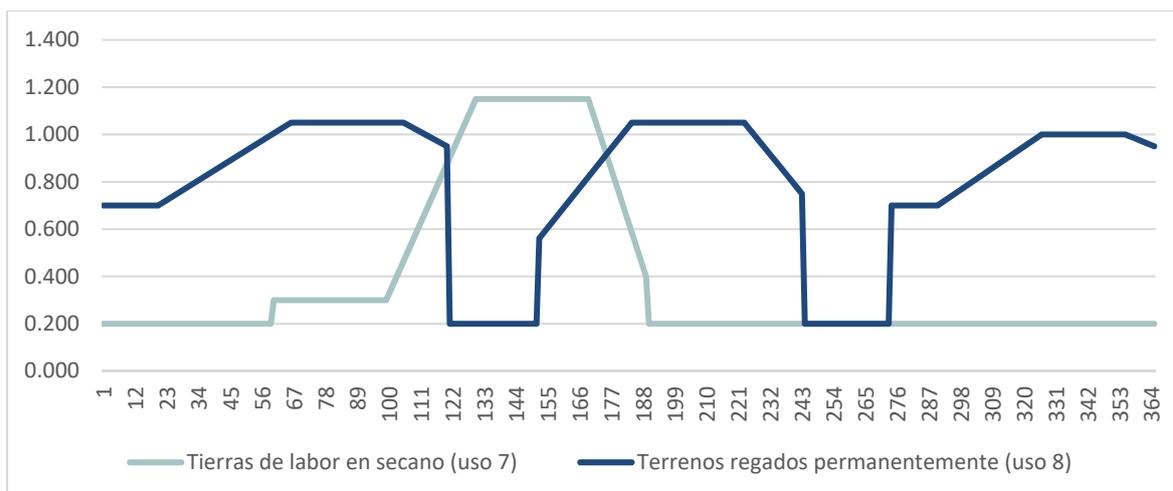


Figura 6 Valores diarios del factor de vegetación para los usos del suelo 7 y 8

Los valores de interceptación máxima, profundidad de raíces y la componente dependiente del suelo de las abstracciones iniciales son los que se indican en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3 Valores de interceptación máxima, profundidad de raíces y abstracciones iniciales

Código	Uso del suelo	lmax (mm)	P. Raíces (m)	Abs. Ini. (mm)
1	Tejido urbano continuo	0	0	0
2	Tejido urbano discontinuo	3	0.06	5
3	Zonas de extracción minera	0	0.01	0
4	Escombreras y vertederos	0	0.06	0
5	Zonas en construcción	0.5	0.06	0
6	Instalaciones deportivas y recreativas	3	0.1	5
7	Tierras de labor en secano	1	0.8	6
8	Terrenos regados permanentemente	1	0.5	6
9	Árboles frutales	1	1.5	6
10	Mosaico de cultivos	1	0.7	6
11	Terrenos principalmente agrícolas pero con importantes espacios de vegetación natural	5	0.75	6
12	Bosque de coníferas	9	1.5	4
13	Vegetación esclerófila	4	0.7	6
14	Matorral boscoso de transición	5	0.7	5
15	Playas, dunas y arenales	0	2	0
16	Espacios de vegetación escasa	3	0.02	3
17	Marismas	4	0.7	6
18	Salinas	0	0	0

En el caso de las abstracciones iniciales, al valor anteriormente tabulado, tal y como se ha comentado, hay que sumarle la componente dependiente de la pendiente, que se calcula mediante la fórmula empírica:

$$Abs_{ini} = abs[10 - (1.3S_0)]$$

donde  $S_0$  es la pendiente (%).

### 3.4.5.- Parámetros del suelo

Los mapas de parámetros necesarios para caracterizar el suelo son: la profundidad del primer obstáculo para el desarrollo de raíces, el contenido de agua disponible en suelo y la capacidad de infiltración del suelo. Los dos primeros, al igual que la profundidad de raíces y las abstracciones iniciales, no se emplean directamente en el modelo, pero son necesarios para calcular el almacenamiento estático máximo.

La profundidad del primer obstáculo para el desarrollo de raíces se ha obtenido directamente de la European Soil DataBase (ESDB) del European Soil Data Centre (ESDAC), concretamente del *dataset: European soil database derived data* (Hiederer, 2013).

El contenido de agua disponible en el suelo, se ha calculado como la diferencia entre el contenido de agua a capacidad de campo y el contenido de agua en el punto de marchitez. Para ello, ha sido necesario calcular la textura del suelo mediante los mapas de contenido en arena, limo y arcilla de la ESDB, *dataset: Topsoil physical properties for Europe* (Ballabio et al., 2016). Conocida la textura del suelo, se ha aplicado la formulación propuesta por Clapp y Horberger (1978):

$$\psi = \psi_{ae} \left( \frac{n}{H} \right)^b$$

donde  $\psi$  es el potencial mátrico (Mpa),  $\psi_{ae}$  es el potencial mátrico del aire de entrada (Mpa),  $n$  es la porosidad,  $b$  es un índice relacionado con la distribución de la porosidad y  $H$  es el contenido de agua en el suelo (m/m). Los valores empleados para el potencial mátrico a capacidad de campo y al punto de marchitez han sido 0,015 MPa y 3 MPa respectivamente. Los valores del potencial mátrico del aire de entrada, la porosidad y el índice  $b$ , han sido los propuestos por Clapp y Horberger (1978) según la textura del suelo.

La capacidad de infiltración del suelo (Figura 7a) ha sido calculada a partir de los mapas de contenido en arena, limo y arcilla de la ESDB aplicando las funciones de pedotransferencia de Saxton et al. (1986). Una vez calculada, el valor en las zonas urbanas se ha modificado para representar el efecto de impermeabilización que generan estas zonas en el suelo. De esta forma, en el uso del suelo tejido urbano continuo (uso 1), el considerado ha sido un 20% del valor obtenido, mientras que en las zonas de tejido urbano discontinuo (uso 2), el valor empelado ha sido un 80% del obtenido.

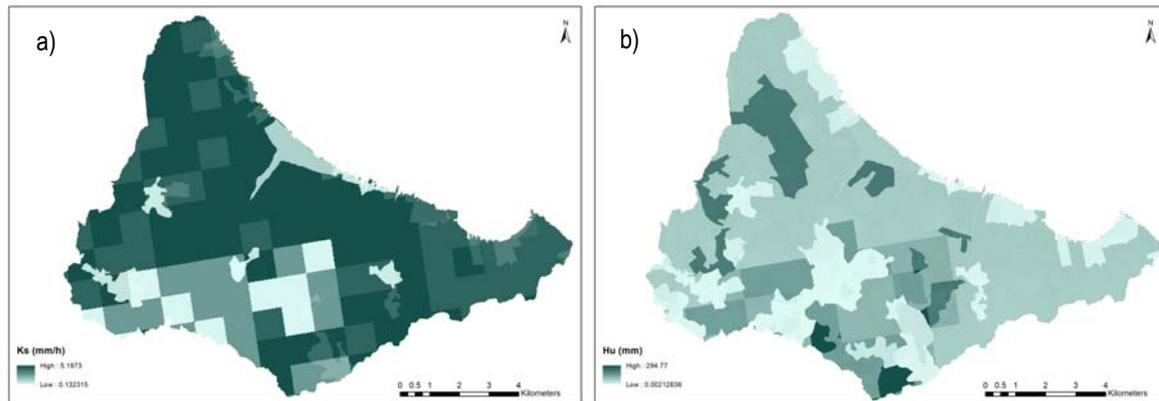


Figura 7 Mapa de capacidad de infiltración (a) y almacenamiento estático máximo (b)

Finalmente, se ha calculado el almacenamiento estático máximo (Figura 7b) como:

$$H_u = Alm_{sup} + AWC \min(P_{raíces}; ROO)$$

donde  $H_u$  es el almacenamiento estático máximo (mm),  $Alm_{sup}$  son las abstracciones iniciales,  $AWC$  es el contenido de agua disponible en el suelo (mm/m),  $P_{raíces}$  es la profundidad de las raíces (m) y  $ROO$  es la profundidad del primer obstáculo para el desarrollo de raíces.

### 3.4.6.- Parámetros geológicos

La información geológica necesaria para el modelo es la capacidad de percolación del acuífero. Para ello se ha empleado el mapa de permeabilidad cualitativa de España a escala 1:200.000 proporcionado por el IGME (IGME, 2013). Este mapa ha sido reclasificado para asignarle un valor a cada permeabilidad cualitativa. En la Tabla 3-4 se muestran los valores empleados en la zona de estudio (Puricelli, 2003).

Tabla 3-4 Permeabilidad cualitativa y valor adoptado

Roca	Permeabilidad cualitativa	Permeabilidad (mm/h)
Carbonatada	Media	4.167
Detrítica	Media baja	0.042
Detrítica	Media	4.167
Volcánica	Baja	0.042
Metadetrítica	Media baja	0.417
Detrítica (Cuaternario)	Media	4.167
Detrítica (Cuaternario)	Baja	0.417

Finalmente, el mapa de percolación de la zona de estudio es el que se muestra en la Figura 8.

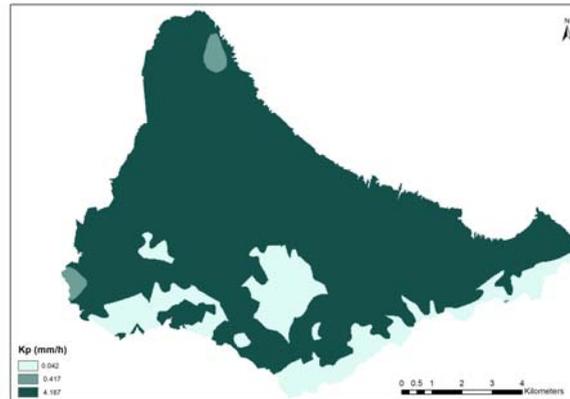


Figura 8 Mapa de capacidad de percolación

### 3.4.7.- Parámetros geomorfológicos

Los nueve parámetros de la onda cinemática geomorfológica empleados por el modelo se han obtenido de estudios realizados en cuencas similares (Vélez, 2001). En la Tabla 3-5 se muestran los valores adoptados.

Tabla 3-5 Parámetros geomorfológicos

Parámetro	Valor
k	1.2968
$\varphi$	0.7571
c1	3.1301
$\varepsilon_1$	0.5088
$\varepsilon_2$	0.3253
cd	6.5156
$\theta$	0.6548
cn	0.0470
$\xi$	0.1667

### 3.4.8.- Superficie de afloramiento de Cuaternario

Tal y como se ha comentado, únicamente el acuífero más superficial está conectado a la laguna, por lo tanto, ha sido necesario ubicar espacialmente los afloramientos de Cuaternario con el objetivo de diferenciar posteriormente la recarga de Cuaternario y la recarga del resto de acuíferos. Para ello se ha empleado el mapa geológico de España a escala 1:50,000 proporcionado por el IGME (IGME, 2003). En la Figura 9 puede verse la zona de afloramientos de Cuaternario.

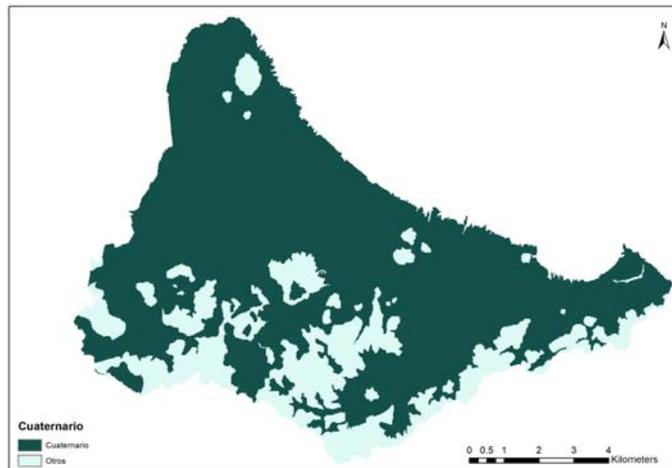


Figura 9 Superficie de afloramiento del acuífero Cuaternario

### 3.4.9.- Riego

La información referente a las zonas de riego y las dotaciones se ha obtenido del *Anexo V del Anejo 3 del Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015/21: Usos y demandas, Fichas de caracterización de las unidades de demanda agraria* (CHS, 2015). En la zona de estudio concurren las unidades de demanda agraria: UDA57, resto Campo de Cartagena, regadío mixto de acuíferos, depuradas y desalinizadas, y UDA58, regadíos redotados del TTS de la ZRT Campo de Cartagena. En la Tabla 3-6 se muestran los datos empleados para el cálculo de las dotaciones.

Tabla 3-6 Demandas y superficie de la unidades de demanda agraria de la zona de estudio

Unidad de demanda agraria	Superficie (ha)	Demanda (hm <sup>3</sup> /año)
UDA 57	16.582	87.25
UDA 58	19.259	131.8

De esta información, se han establecido cuatro zonas de riego en el modelo (Figura 10): zona de riego de la UDA 57 en cítricos (uso del suelo 9) y en cultivos de regadío (uso del suelo 8), y zona de riego de la UDA 58 en cítricos y en cultivos de regadío. Así mismo, los valores anuales se han distribuido de forma proporcional a la superficie, el factor de vegetación y la evapotranspiración potencial, resultado los valores de la Tabla 3-7.

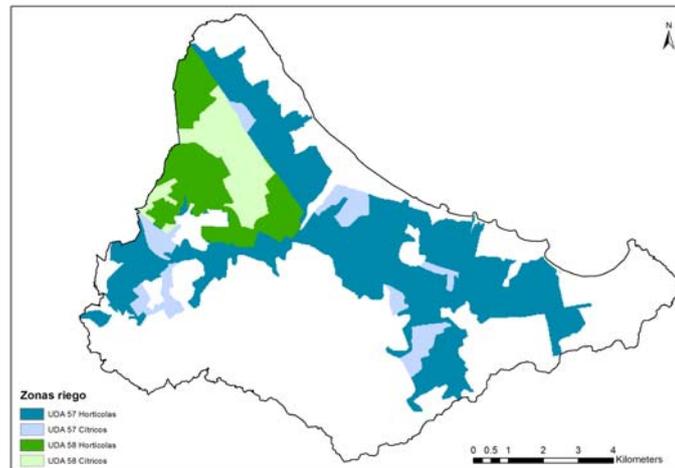


Figura 10 Zonas de riego establecidas para el modelo

Tabla 3-7 Dotaciones de riego mensuales para cada zona de riego

	Dotaciones de riego mensuales (mm)			
	UDA 57		UDA 58	
	Uso suelo 8	Uso suelo 9	Uso suelo 8	Uso suelo 9
Enero	16.87	3.12	15.04	11.34
Febrero	25.84	3.83	23.03	13.92
Marzo	45.68	5.79	40.73	21.05
Abril	55.80	7.23	49.74	26.26
Mayo	6.71	8.90	5.99	32.33
Junio	58.33	9.88	52.00	35.89
Julio	87.48	11.06	77.99	40.18
Agosto	71.12	9.94	63.41	36.11
Septiembre	5.44	7.21	4.85	26.21
Octubre	29.07	5.29	25.92	19.22
Noviembre	24.24	3.43	21.61	12.47
Diciembre	21.11	2.82	18.82	10.26

Además, en las dos unidades de demanda agraria, el riego es por goteo y diario.

### 3.5.- Delimitación de subcuencas

Una vez obtenido el mapa de direcciones de drenaje correcto, se ha realizado la división en subcuencas. En total se han delimitado un total de 89 cuencas, de las cuales, 66 son microcuencas costeras (Figura 11).



Figura 11 Delimitación de subcuencas en la zona de estudio

## 4.- INFORMACIÓN DEL CICLO DE SEDIMENTOS

### 4.1.- Consideraciones generales

En este capítulo únicamente se describe la información necesaria para la implementación del modelo, ya que no se ha encontrado ningún estudio que aporte información acerca de los sedimentos en la zona de estudio. Además, al igual que en el caso de la hidrología, no existen registros de series temporales de transporte de sedimentos en suspensión. Los mapas de parámetros calculados se proporcionan en formato ascii, sistema de referencia ETRS89 proyección UTM 30N. El listado de mapas es:

- Contenido de arena en suelo en % (arena.asc)
- Contenido de limo en suelo en % (limo.asc)
- Contenido de arcilla en suelo en % (arcilla.asc)
- Factor de erosionabilidad en  $(t\ m^2\ h) / (ha\ hJ\ cm)$  (factorK.asc)
- Factor de cultivo (factorC.asc)

### 4.2.- Información espacial necesaria para la implementación del ciclo de sedimentos

En primer lugar, es necesario caracterizar la granulometría de la zona de estudio. Para ello el modelo emplea los mapas de contenido en arena, limo y arcilla (Figura 12). En este caso, se han empleado los mapas de la ESDB mencionados anteriormente (3.4.5.-Parámetros del suelo).

Además de estos mapas, el modelo emplea los parámetros K, C y P de la formulación de la Universal Soil Loss Equation (USLE) (Renard et al., 1994).

El factor de prácticas de conservación del suelo, factor P, se ha fijado en 1 para toda la zona de estudio, ya que en la actualidad no se emplean prácticas de conservación del suelo. El factor de cultivo, factor C (Figura 12b) deriva de los usos del suelo. Los valores asignados han sido adaptados a los usos del suelo de la zona según los estudios llevados a cabo por Alatorre et al. (2010). Por último, el factor de erosionabilidad del suelo, factor K (Figura 12a), se ha calculado mediante la ecuación propuesta por Wischmeier et al. (1978):

$$100K = \left[ (1.1 \cdot 10^{-4} M^{1.14} (12 - MO) + 3.25 (s - 2) + 2.5 (p - 3)) / 100 \right] 0.1317$$

donde  $M$  es el parámetro de textura de los 15 cm superficiales,  $MO$  es el contenido en materia orgánica (%),  $s$  es el parámetro de estructura y  $p$  es el parámetro de permeabilidad.

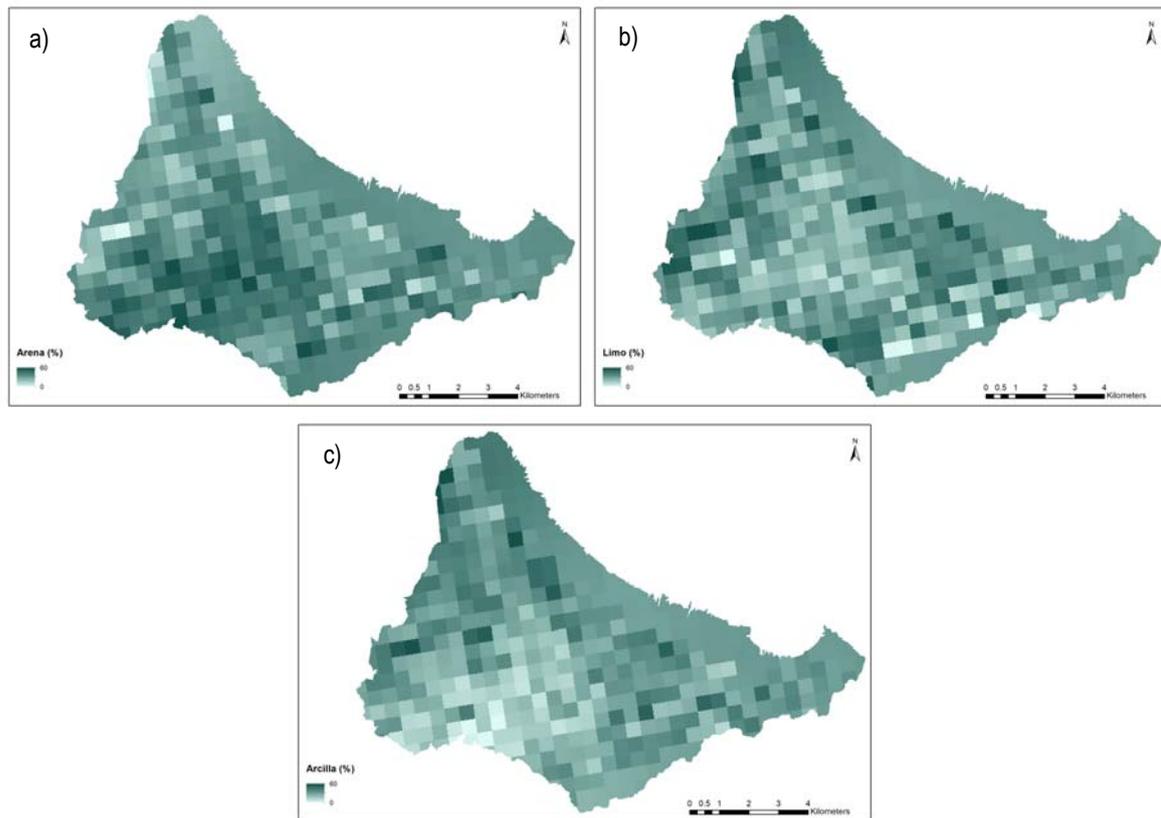


Figura 12 Mapa de contenido en arena (a), limo (b) y arcilla (c) del suelo

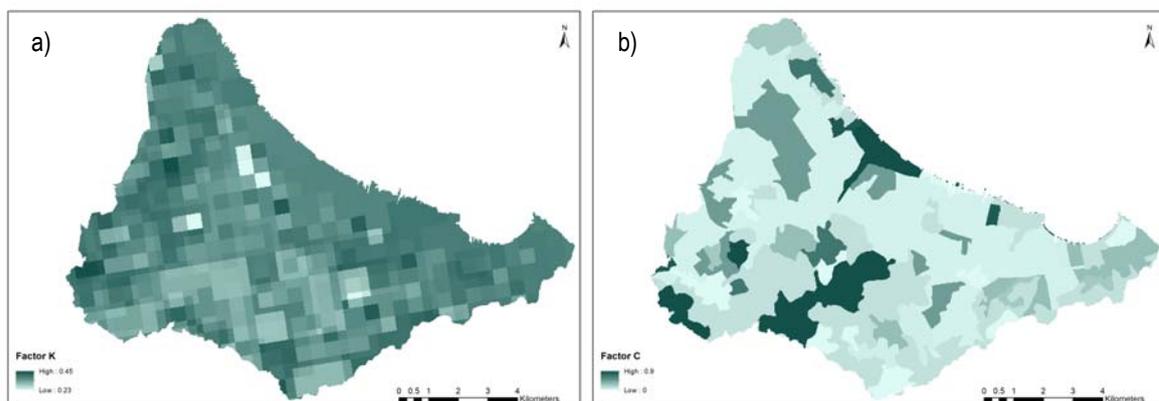


Figura 13 Mapas del Factor K (a) y Factor C (b) de la USLE

## 5.- INFORMACIÓN DEL CICLO DE NITRÓGENO

### 5.1.- Consideraciones generales

La información recogida en este capítulo se divide en datos observados de concentración de aguas subterráneas e información necesaria para la implementación del modelo. En el fichero denominado "Concentraciones.accdb" se encuentran los datos observados de concentración en la zona de estudio. En el fichero "DosisAbonado.xlsx", se encuentran las dosis de abonado por uso del suelo y en el fichero "Factorcubierta.xlsx" los valores mensuales del factor de cubierta según usos del suelo. Los mapas de parámetros calculados se proporcionan en formato ascii, sistema de referencia ETRS89 proyección UTM 30N. El listado de mapas es:

- Contenido en nitrógeno orgánico del suelo en kgN (NO.asc)
- Contenido de agua en el suelo en el punto de marchitez en mm (hlim.asc)
- Profundidad efectiva del suelo en m (Psuelo\_efectiva.asc)
- Densidad aparente del suelo en g/cm<sup>3</sup> (dens\_aparente.asc)
- Coeficiente de partición en dm<sup>3</sup>/kg (kd.asc)

### 5.2.- Datos observados de concentración de nitrógeno en aguas subterráneas

Estos datos fueron suministrados por la Confederación Hidrográfica del Segura. En la zona de estudio hay 7 puntos de muestreo que abarcan el periodo temporal 2002-2013, aunque las muestras no se han tomado con una frecuencia suficiente. Tal y como puede observarse en la Figura 14 y la Figura 15, hay largos periodos sin ningún dato.

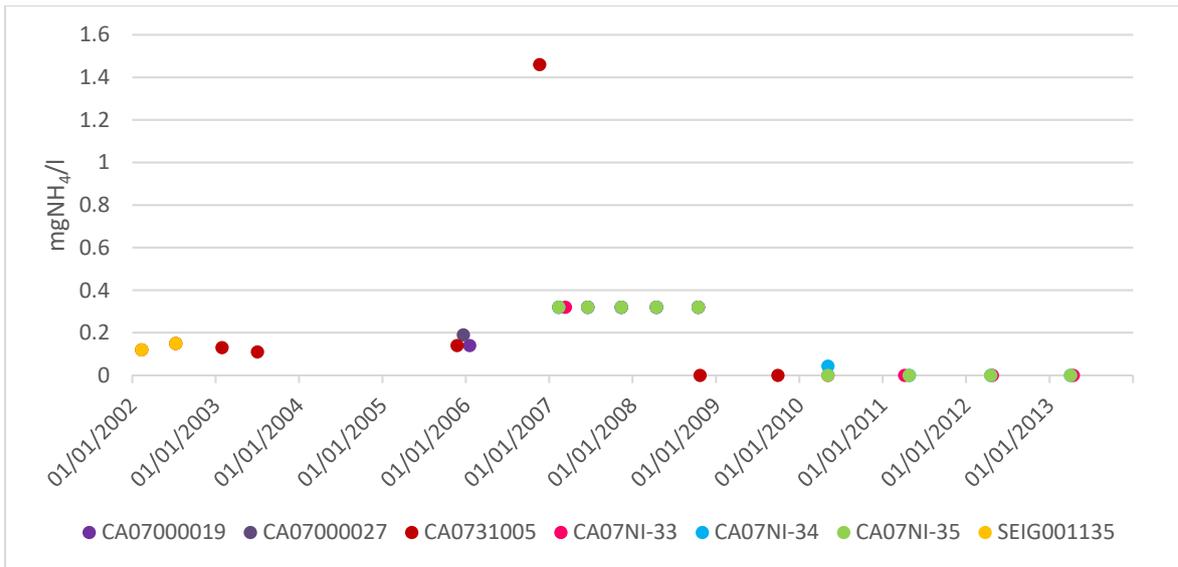


Figura 14 Datos observados de concentración de amonio en aguas subterráneas

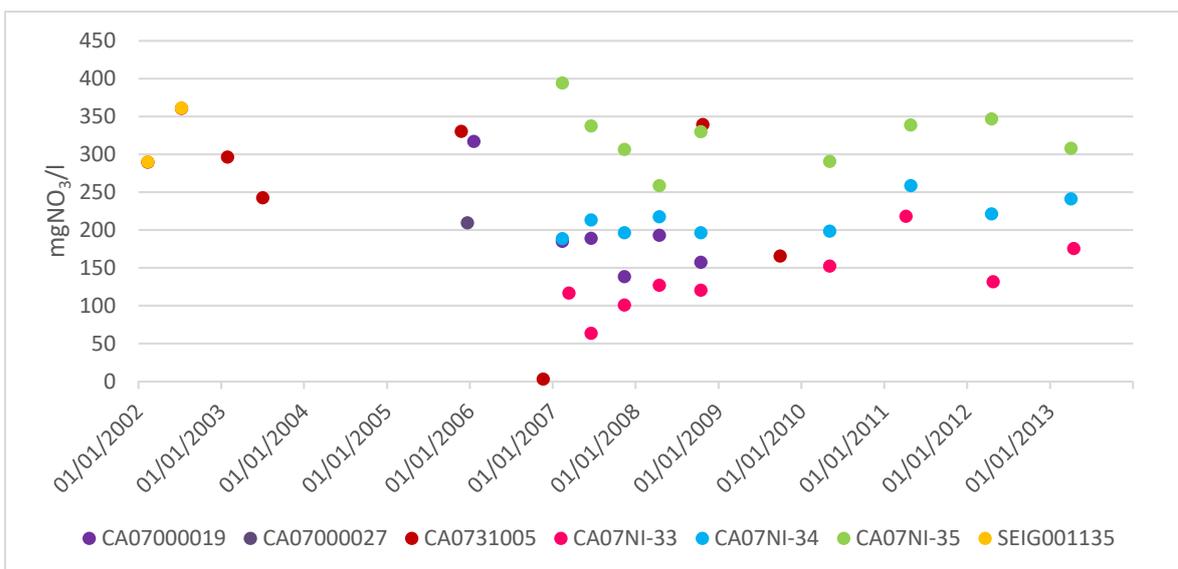


Figura 15 Datos observados de concentración de nitrato en aguas subterráneas

### 5.3.- Información espacial necesaria para la implementación del ciclo de nitrógeno

A continuación, se describe la información sobre los parámetros que caracterizan la zona de estudio, así como el método de cálculo en caso de ser necesario.

### 5.3.1.- Contenido en nitrógeno orgánico del suelo

En el modelo el contenido de nitrógeno orgánico se considera un parámetro, ya que éste no cambia de forma significativa en los suelos. Éste se ha calculado a partir del mapa de la ESDB de contenido en materia orgánica del *dataset: European soil database derived data* (Hiederer, 2013). Conocido el porcentaje de materia orgánica, es posible calcular el contenido en carbono orgánico como:

$$C_{org} = \frac{MO}{100}/2$$

donde  $MO$  es el contenido en materia orgánica del suelo (%) y  $C_{org}$  es el contenido de carbono orgánico del suelo ( $kgC/kg_{suelo}$ ). Partiendo del contenido en carbono orgánico, es posible de calcular el contenido en nitrógeno orgánico aplicando la relación C/N de los suelos. En el caso de suelos arables se ha considerado una relación C/N de 10 (usos 7-11), en el resto una relación de 20. Posteriormente se transforma a  $kg/m^3$  con el mapa de densidad aparente del *dataset* de la ESDB: *Topsoil physical properties for Europe* (Ballabio et al., 2016). En la Figura 16 se muestra el mapa finalmente obtenido.

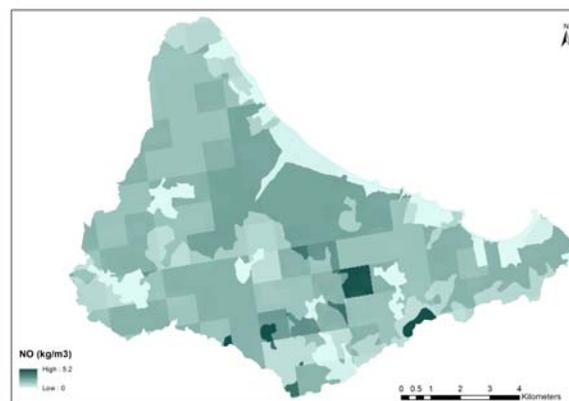


Figura 16 Mapa de contenido en nitrógeno orgánico del suelo

### 5.3.2.- Parámetros del suelo

Los mapas de parámetros necesarios para caracterizar el suelo en el caso del modelo del ciclo del nitrógeno son: la profundidad efectiva del suelo, el contenido de agua disponible en el punto de marchitez, la densidad aparente y el coeficiente de partición o distribución del suelo. La profundidad de suelo efectiva (Figura 17a) se calcula como:

$$P_{effect} = \min(P_{raíces}; ROO)$$

donde  $P_{efect}$  es la profundidad efectiva del suelo (m),  $P_{raíces}$  es la profundidad de las raíces (m) y  $ROO$  es la profundidad del primer obstáculo para el desarrollo de raíces (m). Estos dos parámetros ya han sido descritos anteriormente (3.4.4.-Parámetros derivados de los usos del suelo y 3.4.5.- Parámetros del suelo respectivamente). El contenido de agua disponible en el suelo al punto de marchitez (Figura 17b), también ha sido descrito previamente junto con la profundidad del primer obstáculo para el desarrollo de raíces, ya que es necesario para el cálculo del almacenamiento estático máximo. El valor de densidad aparente del suelo (Figura 17c), tal y como se ha descrito en el apartado anterior, se ha obtenido directamente de la ESDB, mientras que el valor del coeficiente de partición (Figura 17d) se ha calculado a partir del mapa de contenido en arcilla, ya que es un parámetro que depende del tipo de arcilla y de su contenido en el suelo. Para ello, se ha aplicado la relación de: 40% arcilla, 7 dm<sup>3</sup>/kg.

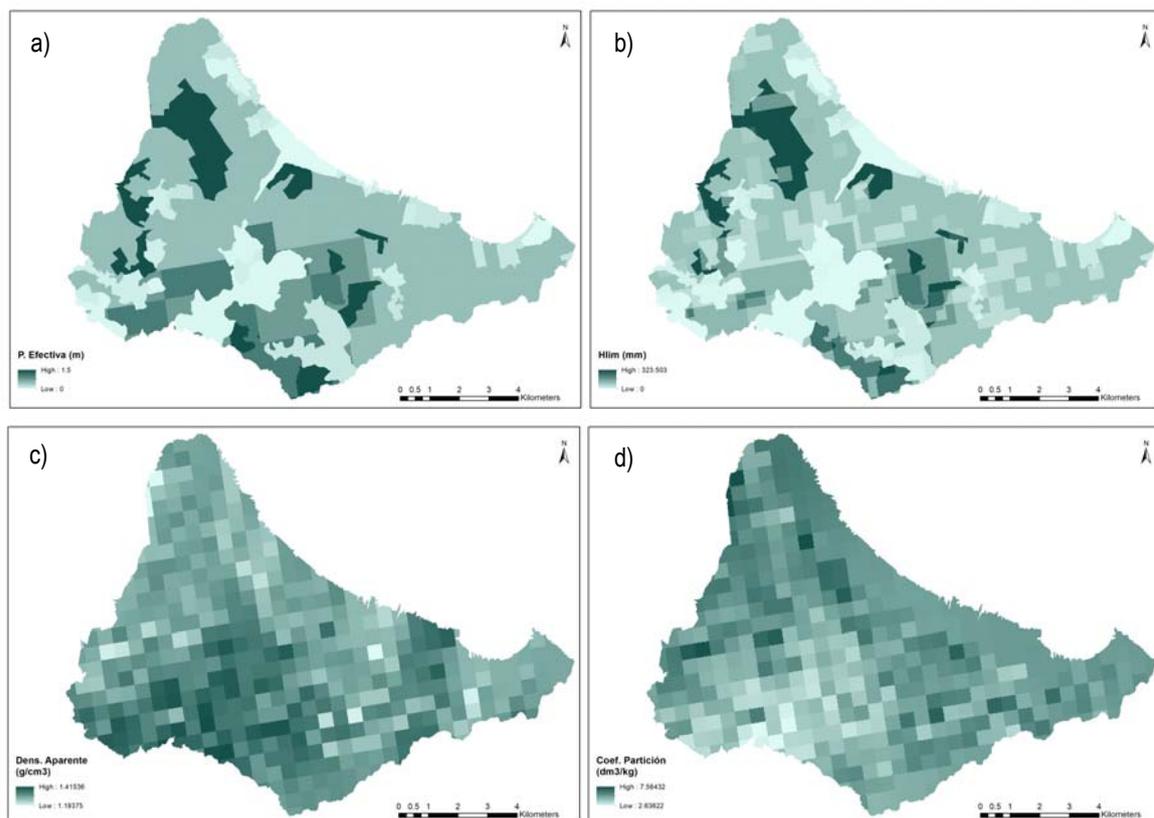


Figura 17 Mapa de profundidad efectiva (a), contenido de agua en el punto de marchitez (b), densidad aparente (c) y coeficiente de partición (d)

### 5.3.3.- Factor de cubierta

En el caso del ciclo de nitrógeno, es necesario separar la fracción de agua que es evaporada de la que es transpirada por la vegetación. Para ello se emplea un factor de cubierta mensual. En la Tabla

5-1 se observan los valores adoptados para cada uno de los usos del suelo, salvo en el caso de los usos del suelo 7 (tierras de labor en secano) y 8 (terrenos regados permanentemente) ya que como se ha comentado anteriormente, en el caso de estos usos del suelo se va a emplear el sub-modelo de cultivos y el valor del factor de cubierta es calculado internamente por el modelo a partir de los parámetros que caracterizan a cada uno de los cultivos.

Tabla 5-1 Valores mensuales del factor de cubierta según usos del suelo

Uso	Ene.	Feb.	Mar.	Abril	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
6	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
10	0.1	0.1	0.6	0.7	0.8	0.95	0.95	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
11	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
12	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
13	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
14	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
17	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

#### 5.3.4.- Parámetros de los usos del suelo en modo cultivos

En el caso de los usos del suelo en modo cultivos, además de los datos anteriores, es necesario recopilar la información referente a los cultivos. En este caso, tal y como se ha comentado anteriormente en el uso del suelo 7 (tierras de labor en secano) el cultivo empleado es cebada, mientras que en el uso del suelo 8 (terrenos regados permanentemente) se ha considerado una rotación de tres cultivos: brócoli, melón, y lechuga. En la Tabla 5-2 se han recogido los parámetros necesarios para caracterizar cada uno de los cultivos: día de plantación, día de cosecha, peso seco en plantación ( $W_{plant}$ ), peso seco esperado en cosecha ( $W_{cose}$ ), factor de cubierta en plantación ( $fc_{plant}$ ), factor de cubierta esperado en cosecha ( $fc_{cose}$ ), temperatura base, coeficientes A y B y preferencia de  $NO_3$ .

Tabla 5-2 Parámetros de los usos del suelo en modo cultivos

Cultivo	Día Plant.	Día Cose.	$W_{plant}$ (t/ha)	$W_{cose}$ (t/ha)	$f_{Cplant}$	$F_{Ccose}$	Temp. Base (°C)	A	B	Pref. $NO_3$
Cebada	60	189	0.001	2.2	0.05	0.95	4	1.35	3	1
Brócoli	1	120	0.02	8.68	0.02	0.95	1	2.4	0.6	1
Melón	152	243	0.2	1.031	0.05	0.9	7	2.48	5	1
Lechuga	274	365	0.05	3.281	0.05	0.9	7	2.6	1.1	1

Los parámetros de temperatura base, A y B se han obtenido inicialmente de Rahn et al. (2010) y se han calibrado para adaptarlos a las características de los cultivos de la zona. Los parámetros de peso seco en cosecha se han obtenido de López et al. (2005) en el caso de la cebada, de Rincon et al. (1999) y Subbarao y Hubbard (1999) para el brócoli, de Gallardo et al. (2011) para el caso del melón y de Suárez-Rey et al. (2016) y Yorío et al. (2001) en el caso de la lechuga.

#### 5.4.- Información de entrada

A continuación, se describe la información de entrada relativa al ciclo de nitrógeno: dosis de abonado y deposición atmosférica.

##### 5.4.1.- Dosis de abonado

De los 18 usos del suelo, tres son abonados: instalaciones deportivas y recreativas (uso 6), que en este caso es un campo de golf, terrenos regados permanentemente (uso 8) y árboles frutales (uso 9). El uso del suelo 7, tierras de labor en secano, a pesar de abonarse, en el modelo no se va a considerar, ya que la plantación de cebada depende de lo húmedo que sea el año, pudiendo llegar a no sembrarse. Para evitar en el modelo que este abono se pierda por percolación, este uso del suelo no se abonará.

En el caso de los usos del suelo 6 y 9, los valores son mensuales (Tabla 5-3 en forma amoniacal y Tabla 5-4 en forma nítrica). Los primeros se han obtenido de la consulta con expertos en la materia, mientras que los segundos se han obtenido del Programa orientativo mensual de fertilización del Sistema de Información Agrario de Murcia (SIAM).

Tabla 5-3 Dosis de abonado mensuales en forma de amonio de los usos del suelo 6 y 9 (kgN/ha/mes)

Uso	Ene.	Feb.	Mar.	Abril	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sept	Oct.	Nov.	Dic.
6	0.25	0.25	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	0.25	0.25
9	0	0	13.4	27.4	27.3	22.1	7.8	8.9	27.3	3.4	0	0

Tabla 5-4 Dosis de abonado mensuales en forma de nitrato de los usos del suelo 6 y 9 (kgN/ha/mes)

Forma	Ene.	Feb.	Mar.	Abril	May.	Jun.	Jul.	Ag.	Sept	Oct.	Nov.	Dic.
6	0.06	0.06	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	0.06	0.06
9	0	0	10.9	22.4	22.3	18.1	6.4	7.3	22.3	2.8	0	0

En el caso del uso del suelo 8, al funcionar en modo cultivos, el valor es diario y no mensual. En la \_ se observa la variación de la dosis de abonado a lo largo del año. Los valores totales se han obtenido de la *Guía: práctica de la fertilización racional de los cultivos en España* (MAPAMA, 2009) y se han adaptado a la etapa de crecimiento de los cultivos. Los valores totales para cada uno de los cultivos son: 250 kgN/ha, 130 kgN/ha y 130 kgN/ha para brócoli, melón y lechuga respectivamente. Con una distribución 50% en forma de amonio, 50% en forma de nitrato en el caso del brócoli y el melón y 55% en forma de amonio, 45% en forma de nitrato en el caso de la lechuga.

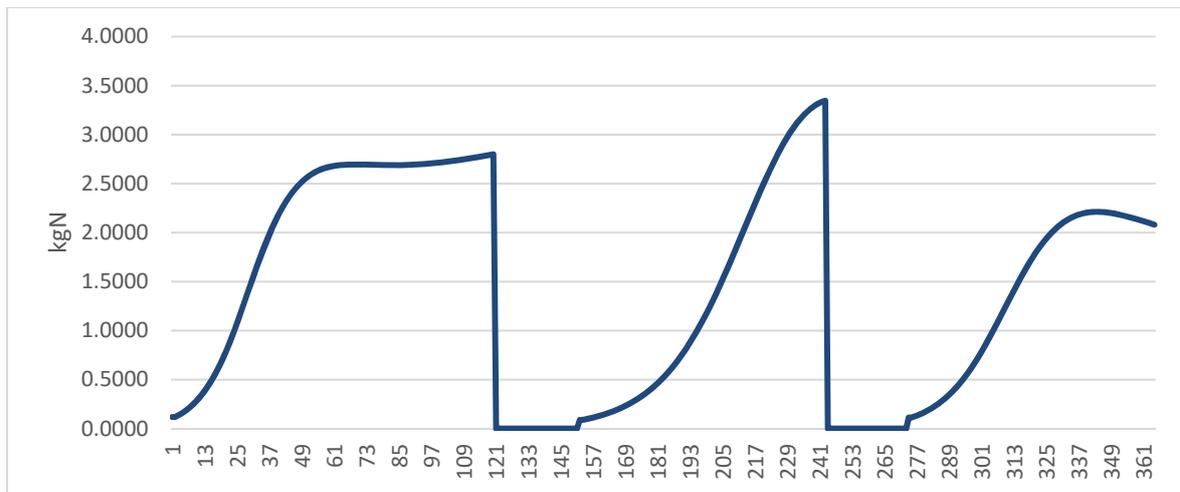


Figura 18 Valores diarios de las dosis de abonado totales para el uso del suelo 8

#### 5.4.2.- Deposición atmosférica

Dada la ausencia de mediciones de deposición atmosférica en la zona, se han recurrido estudios realizados por el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). Según García-Gómez et al. (2014), el valor de nitrógeno total para la zona de estudio está comprendido entre 7,5 y 10 kgN/ha/año. Además, separan entre deposición húmeda de

NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub> y deposición húmeda de NH<sub>3</sub>, con una relación 3:1. A efectos del modelo, NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub> se ha considerado deposición en forma de nitrato, mientras que NH<sub>3</sub>, deposición en forma de amonio. A partir de estos valores, y considerando que la deposición seca sigue la misma relación 3:1, se han establecido unos valores constantes de deposición atmosférica de: 3 kgN/ha/año en forma de amonio y 6 kgN/ha/año en forma de nitrato.

## 6.- CONCLUSIONES

En este trabajo se ha recopilado la información necesaria para la implementación de un modelo distribuido en las cuencas Sur del Mar Menor que sea capaz de modelizar los ciclos de agua, sedimentos y nitrógeno. Esta información ha sido la siguiente:

1. Información meteorológica
  - a. Precipitación
  - b. Temperatura
  - c. Evapotranspiración potencial
2. Información general del ciclo hidrológico
  - a. Hidrología superficial
  - b. Hidrología subterránea
  - c. Información espacial necesaria para la implementación del modelo hidrológico
    - i. Modelo de elevación digital
    - ii. Parámetros derivados del MED
    - iii. Usos del suelo
    - iv. Parámetros derivados de los usos del suelo
    - v. Parámetros del suelo
    - vi. Parámetros geológicos
    - vii. Parámetros geomorfológicos
    - viii. Superficie de afloramiento de Cuaternario
    - ix. Riego
  - d. Delimitación de subcuencas
3. Información espacial necesaria para la implementación del ciclo de sedimentos
4. Ciclo de nitrógeno
  - a. Datos observados de concentración de nitrógeno en aguas subterráneas
  - b. Información espacial necesaria para la implementación del ciclo de nitrógeno
    - i. Contenido en nitrógeno orgánico del suelo
    - ii. Parámetros del suelo
    - iii. Factor de cubierta
    - iv. Parámetros de los usos del suelo en modo cultivos
  - c. Información de entrada
    - i. Dosis de abonado
    - ii. Deposición atmosférica

La información que se ha recopilado es suficiente para abordar el problema de la modelización en fases posteriores, pero hay que indicar que:

- i) no hay información específica de las cuencas del Sur sobre caudales y sedimentos y

- ii) la información subterránea en algunos casos es correspondiente a todo el acuífero del Campo de Cartagena, pero en realidad no será posible hacer una modelación precisa de sólo una parte del acuífero sin tener en cuenta el resto: tendrá que ser necesariamente aproximada.

## ANEXO 1. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Alatorre, L.C., Beguería, S., García-Ruiz, J.M., (2010). Regional scale modeling of hillslope sediment delivery: A case study in the Barasona Reservoir watershed (Spain) using WATEM/SEDEM. *Journal of Hydrology*. 391, 109–123.
- Arco Sur (2017). *Cuantificación de la descarga subterránea al Mar Menor mediante modelización hidrogeológica del acuífero superficial Cuaternario*. Comunidad de Regantes Arco Sur, Murcia.
- Ballabio, C., Panagos, P., Montanarella, L. (2016). Mapping topsoil physical properties at European scale using the LUCAS database. *Geodema*, 261, pp. 110-123.
- CARM (2016a). *Proyecto de acciones correctoras frente al riesgo de inundación en el entorno de la urbanización de Los Nietos. T.M. Cartagena (Murcia)*. Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente. Región de Murcia.
- CARM (2016b). *Proyecto de acciones correctoras frente al riesgo de inundación en el entorno de las urbanizaciones de Islas Menores y Mar de Cristal. T.M. Cartagena (Murcia)*. Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente. Región de Murcia.
- CHS (2015). *Plan hidrológico de la demarcación del Segura 2015/21*. Confederación hidrográfica del Segura.
- Clapp, R. B., Hornberger, G. M. (1978). Empirical equations for some soil hydraulic properties. *Water Resources Research*, 14(4), 601-604.
- CNIG (2016a). Lidar con densidad de 0.5 puntos/m<sup>2</sup>. Centro Nacional de Información Geográfica.
- CNIG (2016b). Modelo digital del terreno con paso de malla de 5m. Centro Nacional de Información Geográfica.
- EEA (2006). Corine Land Cover, 2006. European Environment Agency.
- FAO (2006). *Estudio FAO riego y drenaje, 56. Evapotranspiración del cultivo, guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Food and Agriculture Organization.

- Gallardo, M., Giménez, C., Martínez-Gaitán, C., Stöckle, C.O., Thompson, R.B., Granados, M.R. (2011). Evaluation of the VegSyst model with muskmelon to simulate crop growth, nitrogen uptake and evapotranspiration. *Agricultural water management*. 101(1), pp. 107-117.
- García-Gómez, H., Garrido, J.L., Vivanco, M.G., Lassaletta, L., Rábago, I., Àvila, A., Tsyro, S., Sánchez, G., González-Ortiz, A., González-Fernández, I., Alonso, R. (2014). Nitrogen deposition in Spain: Modeled patterns and threatened habitats within the Natura 2000 network. *Science of the total environment*, 485-486, pp. 450-460.
- Hargreaves, G.H., Samani, Z.A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Eng. In Agric.*, 1(2): 96-99.
- Herrera, S., Fernández, J., Gutiérrez, J.M. (2016). Update of the Spain02 gridded observational dataset for Euro-CORDEX evaluation: assessing the effect of the interpolation methodology. *International Journal of Climatology*, 36, pp. 900-908.
- Hiederer, R. (2013). *Mapping soil properties for Europe – Spatial representation of soil database attributes*. Luxembourg: publications office of the European Union, 47pp. EUR26082EN Scientific and technical research series.
- IGME (1991). *Estudio hidrogeológico del Campo de Cartagena*. Instituto Geológico y Minero de España.
- IGME (2003). Mapa geológico de España. Escala 1:50,000. Instituto Geológico y Minero de España.
- IGME (2013). Mapa de permeabilidad cualitativa del acuífero. Escala 1:200,000. Instituto Geológico y Minero de España.
- López, M.V., Arrúe, J.L., Álvaro-Fuentes, j., Moret, D. (2005). Dynamics of Surface barley residues during fallow as affected by tillage and decomposition in semiarid Aragon (NE Spain). *European Journal of Agronomy*. 23(1), pp. 26-36.
- MAPAMA (2009). *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Puricelli, M.M. (2003). *Estimación y distribución de parámetros del suelo para la modelación hidrológica*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València.

Rahn C. R., Zhang K., Lillywhite R., Ramos C., Doltra J., de Paz J.M., Riley H., Fink M., Nendel C., Thorup-Kristensen K., Pedersen A., Piro F., Venezia A., Firth C., Schmutz U., Rayns F., Strohmeyer K., 2010. EU-Rotate\_N – a Decision Support System – to Predict Environmental and Economic Consequences of the Management of Nitrogen Fertiliser in Crop Rotations. *European Journal of Horticultural Science* 75(1), 20-32.

Renard, K.G., Laflen, J.M., Foster, G.R., McCoo, D.K. (1994). The revised universal soil loss equation. *Soil erosion research methods*, pp. 105-124.

Rincón, L., Sáez, J., Pérez-Crespo, J.A., Gómez-López, M.D., Pellicer, C. (1999) Crecimiento y absorción de nutrientes del brócoli. *Investigación Agraria. Producción y protección vegetal* 14(1-2), pp 225-236.

Saxton, K.E., Rawls, W.J., Romberger, J.S., Papendick, R.I. (1986). Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Science Society of America*, 50(4), pp. 1031-1036.

Suárez-Rey, E.M., Romero-Gámez, M., Giménez, C., Thompson, R.B., Gallardo, M. (2016). Use of EU-Rotate\_N and CropSyst models to predict yield, growth and water and N dynamics of fertigated leafy vegetables in a Mediterranean climate and to determine N fertilizer requirements. *Agricultural Systems*. 149, pp. 150-164.

Subbarao, K.V., Hubbard, J.C. (1999). Evaluation of broccoli residue incorporation into field soil for verticillium wilt control in cauliflower. *Plant disease*. 83(2), pp 124-129.

Témez, J.R. (1991). Generalización y mejora del método racional. Versión de la Dirección General de Carreteras de España. *Ingeniería Civil*, 82, pp. 51-56.

Vélez, J.I. (2001). *Desarrollo de un modelo hidrológico conceptual y distribuido orientado a la simulación de crecidas*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València.

Wischmeier, W.H., Johnson, C.B., Cross, B.V. (1971). A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Soil Water Conservation*. 26, pp 189-193.

Yorio, N.C, Goins, G.D., Kagie, H.R., Wheeler, R.M., Sager, J.C. (2001). Improving spinach, radish and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *Hort Science*, 36(2), pp. 380-383.