

A-08

ESTIMACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LOS SUELOS DE CASTILLA Y LEÓN PARA SU USO EN LA DOSIFICACIÓN DEL AGUA DE RIEGO

Gutiérrez García, A.(1)(P), Fernández Sánchez, M.M. (1), Nafría García, D.A. (2).

¹Técnicos de la Subdirección de Infraestructuras Agrarias del Instituto Tecnológico Agrario ita-gutgaral@itacyl.es, fersanmm@itacyl.es.

²Jefe de la Unidad de Información Geográfica e Innovación, Subdirección de Infraestructuras Agrarias, Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León, nafgarda@itacyl.es.

Resumen

En este trabajo se muestra el proceso seguido para la creación de (i) una base de datos de propiedades texturales e hidráulicas de los suelos a nivel municipal y (ii) mapas de las mismas características a nivel regional. Estos datos deben servir de base para la realización de balances hídricos en cualquier lugar del territorio de la Comunidad autónoma donde no existan datos locales a nivel de parcela. El punto de partida para la creación de ambos productos fue el mismo: las muestras de suelos almacenadas en la *Base de datos de los suelos de Castilla y León*. En el primer caso, se utilizaron las funciones de edafotransferencia (FET) de Saxton et al., 2006 para la transformación de textura a propiedades hidráulicas del suelo. El resultado fue una base de datos que identifica los tres grupos texturales más frecuentes en cada municipio y asigna a cada uno de ellos los valores estimados de Agua Disponible Total y permeabilidad. En el segundo caso, se generaron ocho mapas, cuatro de ellos de parámetros edáficos (contenidos de arcilla, arena, limo y materia orgánica) y otros cuatro correspondientes a las características hidráulicas del suelo (humedad a punto de marchitez, a capacidad de campo, en saturación y permeabilidad en saturación). Los primeros se obtuvieron mediante técnicas de interpolación espacial tipo Regression-Kriging y los segundos mediante la aplicación directa de las FET a los primeros.

Abstract

This paper shows the creation of (i) a municipal database of texture and hydraulic soil properties and (ii) regional maps also describing these properties. These dataset will allow soil water balances calculations everywhere within Castile and León region in the absence of local data at parcel level Both works had the same data source: the soil samples stored in the Castilla y Leon Soils Database (CyLSDB). As for the municipal database, Saxton's (2006) Pedo-Transfer Functions (PTFs) were applied to the soil samples in the CyLSDB in order to obtain the hydraulic properties of each one. Then, some reclassifications and segmentations over the texture groups and Total Water Available (TAW) were carried out. The result was a database identifying the three most frequent textural soil groups in each municipality. The median value of Total Available Water content (TAW) and saturation permeability were also assigned to each group. As for the regional maps, eight were derived—four of them on soil parameters and the others on hydraulic properties. The maps in the first group were derived by means of Regression-Kriging method and the ones in the second group were obtained by applying the PDTs to the first ones.

1- Introducción

La correcta planificación del riego, tanto a nivel de parcela como a nivel regional, pasa necesariamente por conocer las características hidráulicas del suelo, esto es, su capacidad de retención de agua y su permeabilidad. La determinación de estos valores en laboratorio es muy costosa y se convierte en inabarcable a nivel regional. Existen, no obstante, otras propiedades del suelo más fácilmente cuantificables que permiten inferir el contenido y la dinámica del agua en el suelo. Estas propiedades son: el contenido de arcilla, limo, arena (textura) y la materia orgánica (MO).

En este sentido, la cartografía edafológica existente en Castilla y León, aunque aporta una información descriptiva de los suelos muy valiosa, no resulta útil para la estimación de dotaciones de riego, ni aporta información directa sobre las propiedades citadas anteriormente.

Por otra parte, en el ámbito agrario, existen numerosas entidades que prestan asesoramiento a los agricultores desde un punto de vista agronómico. Entre estas labores de asesoramiento está la prescripción de recomendaciones de abonado que pasa, necesariamente, por la realización de análisis de suelo. El resultado analítico de estos análisis no sólo es interesante por los datos en sí mismos, sino también por su volumen y dispersión geográfica.

Toda esta información hace posible abordar una primera estimación de las propiedades texturales e hidráulicas de los suelos de la comunidad.

En este trabajo se muestra como se ha llevado a cabo esta estimación a dos niveles de detalle: uno municipal y otro regional. En ambos casos, el resultado da una idea de cómo se va a comportar en el suelo el agua aportada, bien sea por el riego bien sea por la lluvia.

2- Objetivos

El primer objetivo fue crear, a nivel municipal, un rango de valores tanto de agua disponible en el suelo (ADT) como de permeabilidad, en función de los grupos texturales simplificados de las muestras de suelo existentes en dicho municipio. Relacionado con el objetivo anterior se establece la creación de unos tipos generales de suelo para aquellos municipios en los que no hay muestras de suelo.

El segundo objetivo de este trabajo fue la creación de mapas regionales de contenido de arena, arcilla, limo y materia orgánica (MO) a partir de muestras de suelo georreferenciadas para, posteriormente, elaborar mapas de humedad del suelo a capacidad de campo, a punto de marchitez, en saturación y permeabilidad en saturación, a través de las fórmulas de edafotransferencia (FET) propuestas por Saxton et al., 2006.

3- Materiales y Métodos

3.1- Materiales

Base de datos de las muestras de suelo de Castilla y León

Motivados por la falta de información edafológica disponible para los proyectos propios de la Subdirección de Infraestructuras Agrarias del ITACyL, en el año 2011 se emprendió una labor de recopilación de los datos disponibles sobre los suelos de Castilla y León: cartografía, descripción de perfiles y análisis de suelo del horizonte superficial (capa arable). Para llevar a cabo esta tarea se establecieron acuerdos con distintas entidades (citadas en el apartado 6- Agradecimientos) que se fueron plasmando en diferentes convenios de colaboración. Gracias a la información facilitada por estos organismos junto con la tomada por los propios técnicos del ITACyL directamente en campo, se pudo crear la *Base de datos de los suelos de Castilla y León*, que, además, es de libre acceso en el portal

<http://suelos.itacyl.es/>. En la figura 1 se puede observar el aspecto del visor disponible en el portal.

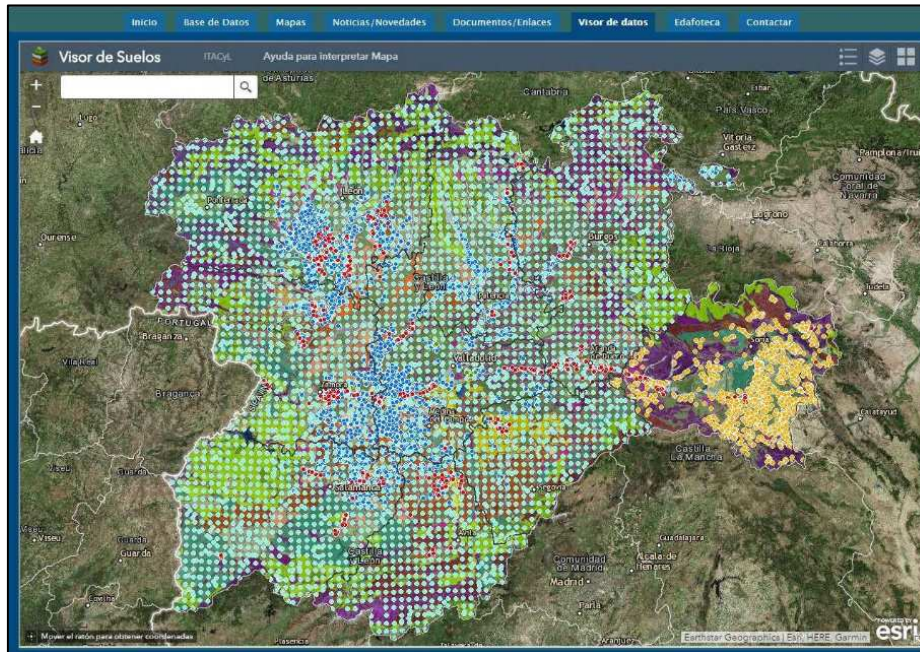


Figura 1. Visor de suelos en la Web <http://suelos.itacyl.es/>

Aunque los parámetros que se incorporan a la *Base de datos* son heterogéneos para los distintos grupos de muestras de suelos que aporta cada organismo, en todas las muestras se conocen los porcentajes de arena, limo, arcilla y MO, cuyos histogramas se muestran en la figura 2. Disponer de esta información fue crucial para la consecución de los dos objetivos descritos en este trabajo.

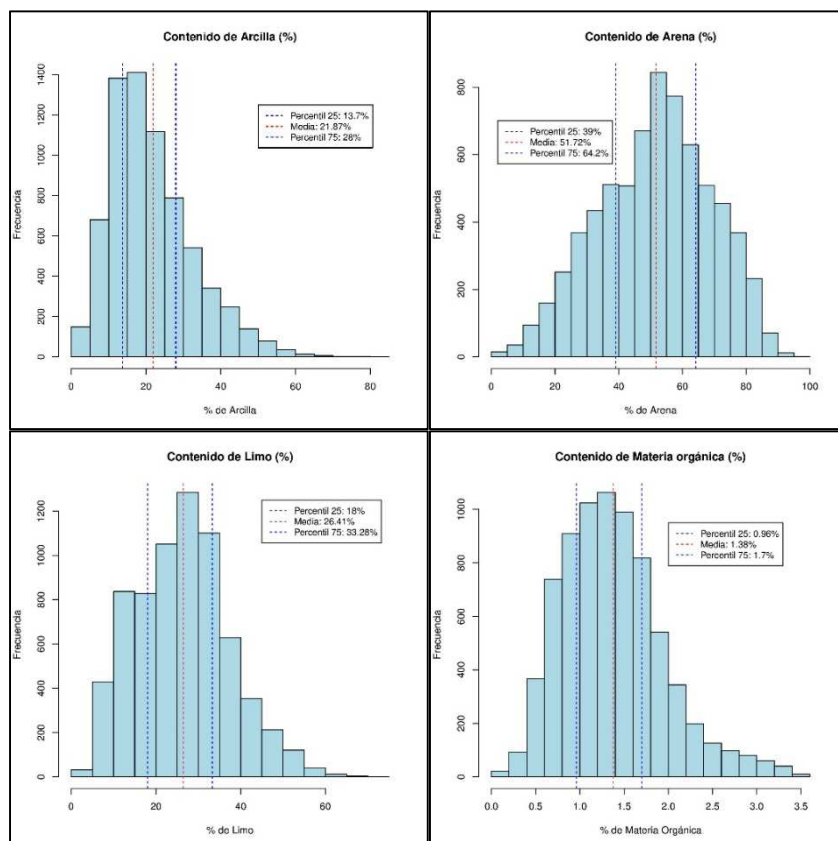


Figura 2. Histogramas del contenido de arcilla, arena, limo y MO (de izquierda a derecha y de arriba a abajo)

La *Base de datos de los suelos de Castilla y León* está compuesta en este momento por cerca de 25.000 muestras, 12.000 georreferenciadas a nivel de parcela y 13.000 de las que se conoce únicamente el municipio en el que se tomó la muestra de suelo. Para la tipificación por término municipal de los parámetros hidráulicos en función del grupo textural, se utilizaron los datos analíticos de todas las muestras de la *Base de datos*. Por otra parte, para la creación de los mapas interpolados se emplearon únicamente las muestras georreferenciadas a nivel de parcela.

Información auxiliar para la creación de los mapas regionales interpolados

Los métodos de interpolación espacial utilizados en este trabajo y que más adelante se detallan, se apoyan en el uso de otros datos distintos al propio valor de la variable objeto de interpolación. Estos se conocen como información auxiliar o variables auxiliares, y ayudan a explicar la variabilidad espacial del dato interpolado. En este caso, las que se emplearon fueron algunas de las establecidas por Jenny, H., 1994 como factores formadores del suelo. En este sentido, se utilizaron, por una parte, variables que aportaran información sobre el régimen climático de la región y por otra, variables relacionadas con las características morfológicas del terreno.

Las variables climáticas seleccionadas fueron aquellas que definen tanto el régimen térmico como el pluviométrico de la comunidad autónoma.

Las variables elegidas para caracterizar el régimen térmico fueron las temperaturas medias mensuales y la temperatura media mensual de las máximas. También, y relacionados con este factor, se utilizaron los Grados-Día de Crecimiento (GDD) en el periodo libre de heladas. Para su cálculo, se consideró una temperatura base de 6°C y una temperatura máxima de 30°C.

El régimen pluviométrico se caracterizó con las precipitaciones medias mensuales y las precipitaciones medias estacionales de invierno, primavera, verano y la anual. También se incorporó la evapotranspiración media anual.

Por último, en lo que a las variables climatológicas se refiere, se utilizó la radiación solar media anual.

El segundo grupo de variables auxiliares que entraron en la definición del modelo fue el relacionado con la morfología del territorio. En este caso, la información base de partida fue el modelo digital del terreno (MDT). Además del propio MDT, se derivaron de éste otros índices que pudieran caracterizar mejor el territorio como son la pendiente, la orientación y la rugosidad del terreno.

Todas estas variables auxiliares se introdujeron en el modelo en formato de imagen de 500 m de resolución, referidas al mismo marco geográfico: ETRS89 en proyección UTM30 N.

En este sentido, es necesario decir que toda esta información es de libre acceso a través de Internet en la página Web del Atlas agroclimático de Castilla y León (www.atlas.itacyl.es).

Aplicaciones informáticas

Las principales aplicaciones informáticas utilizadas fueron preferentemente libres y de código abierto.

Para el trabajo y visualización de información geográfica se optó por el Sistema de Información Geográfica (SIG) QGIS (<https://www.qgis.org>). Una de las ventajas que ofrece este software es que permite incorporar herramientas y algoritmos de otros SIG libres como SAGA GIS o GRASS lo que aumenta enormemente su funcionalidad. Otro aspecto muy interesante, es que está basado en las librerías geoespaciales GDAL/OGR. Estas librerías son, precisamente, las que permitieron enlazar la parte cartográfica con la parte estadística del trabajo.

La parte estadística se realizó con el software R (www.r-project.org). Este programa también libre y de código abierto, permite incorporar paquetes específicos para cada trabajo. Así, por ejemplo, las librerías *gstat* y *sp* permiten establecer modelos de interpolación espacial como IDW o Kriging y la librería *rgdal* permite la gestión de información geográfica dentro de R.

En alguna ocasión, también fue necesario recurrir al trabajo sobre base de datos. En estas situaciones se optó por SQLite/SpatiaLite (www.gaia-gis.it/gaia-sins) ya que, aparte de incorporar numerosas funciones para el trabajo con información geográfica, es fácilmente portable y manejable.

No obstante, también se utilizaron programas privativos como ArcGIS® o los programas ofimáticos de Microsoft®, principalmente para la transformación de formatos propietarios a formatos abiertos o para el intercambio de información.

3.2- Métodos

Creación de los grupos de suelo a nivel municipal

Se partió de muestras de suelo georreferenciadas a nivel de parcela y de muestras georreferencias a nivel de municipio que se armonizaron y se juntaron en una base de datos única, compuesta por 16.070 muestras de zonas agrarias y fiables en los valores de MO y textura.

Dado que todas las muestras tienen el contenido de arena, limo y arcilla, cada una de ellas se pudo clasificar dentro de uno de los 12 grupos recogidos en el triángulo de texturas del USDA (United States Department of Agriculture). Si bien es cierto que la nomenclatura de esta clasificación es bastante descriptiva, no lo es menos que las diferencias entre algunas de sus clases resulta muy sutil. Con el fin de ofrecer una

nomenclatura más reducida, se reagruparon las doce clases en cinco grupos: textura gruesa, moderadamente gruesa, media, moderadamente fina y fina.

Por otra parte, para poder caracterizar un suelo desde el punto de vista hidráulico, es necesario conocer, entre otras cosas, el agua que es capaz de almacenar y la velocidad con la que esta se mueve a su través. Saxton et al. (1986) establece una serie de ecuaciones empíricas que relacionan las características texturales y el contenido de MO de una muestra de suelo con sus características hidráulicas tales como la humedad a capacidad de campo, a punto de marchitez, en saturación y la permeabilidad del suelo en saturación. En el año 2006 este mismo autor actualizó las fórmulas usando para ello la base de datos de suelos del USDA (United States Department of Agriculture). Estas funciones fueron las que se aplicaron a cada una de las muestras de la base de datos para obtener los valores de contenido de Agua Disponible Total (ADT_vol) y la permeabilidad (Perme_mm_h).

Posteriormente, para los municipios que tenían más de tres muestras, se efectuó la segmentación de la variable numérica ADT_Vol en tres grupos. La forma de realizar esta segmentación fue por segmentos naturales, mediante el algoritmo de k-medias. A continuación, y, a nivel municipal, se calculó la mediana de los valores ADT_Vol y Perme_mm_h en cada uno de los grupos formados en el paso anterior. Al mismo tiempo, sobre estos mismos grupos, se identificó la clase textural agrupada más frecuente. De esta forma se asignaron, a cada municipio, tres valores cualitativos de textura según la clasificación agrupada, tres valores de ADT_Vol y otros tres de Perme_mm_h (uno por cada clase textural identificada en el municipio).

Estos datos han permitido resumir toda la heterogeneidad de los suelos a un reducido catálogo de tres suelos preponderantes en cada municipio, con sus correspondientes propiedades hidráulicas asociadas. Un ejemplo de la utilidad de esta información se describe en el apartado aplicaciones prácticas de esta misma comunicación.

Creación de los mapas regionales de textura y características hidráulicas

El segundo de los objetivos, como se explicó en el apartado correspondiente, fue la creación de mapas de contenido de arena, arcilla, limo y MO para, a partir de ellos, generar los mapas de humedad del suelo a capacidad de campo, a punto de marchitez, en saturación y de permeabilidad en saturación.

El punto de partida es el mismo que para la creación de los grupos de suelos a nivel municipal: la *Base de datos de los suelos de Castilla y León*.

La idea general de la metodología fue la de estimar en cada punto de una rejilla regular de 500x500 m que cubre todo el territorio, su contenido de arena, limo, arcilla y MO. De esta forma, se obtuvo una imagen de todo el territorio para cada una de estas variables. Estas imágenes son, precisamente, los datos de entrada para generar los mapas de propiedades hidráulicas del suelo. En lo que se refiere a la creación de estas últimas imágenes, a diferencia de las anteriores, se generaron mediante álgebra de mapas aplicando directamente las FET propuestas por Saxton et al., 2006.

A continuación se describe algo más en profundidad la metodología para los dos grupos de mapas.

Los mapas de textura

La estimación de las características texturales en los puntos de la rejilla se realizó mediante técnicas de interpolación espacial. El fundamento de estas técnicas es la primera ley de la Geografía enunciada por Tobler en 1970: "*Todas las cosas están relacionadas entre sí, pero las cosas más próximas en el espacio tienen una relación mayor que las distantes*".

Existen multitud de técnicas de interpolación como por ejemplo el inverso de la distancia (IDW), Spline o Kriging. En este caso se optó por esta última técnica.

Una de las ventajas que tiene utilizar las metodologías tipo Kriging es que permiten la estimación directa de la calidad de la interpolación en términos de varianza del valor predicho en localizaciones no visitadas (Burrough, P.A. et al., 1998), en este caso, los puntos de la malla regular descrita. Esta metodología establece la creación de un semi-variograma para determinar la existencia o no de correlación espacial de la variable objetivo. Este semi-variograma, una vez ajustado, se utiliza para establecer la influencia o peso que tiene cada muestra sobre el valor de la variable en la localización no visitada. En la figura 3 se muestran los semi-variogramas de las variables interpoladas en este trabajo.

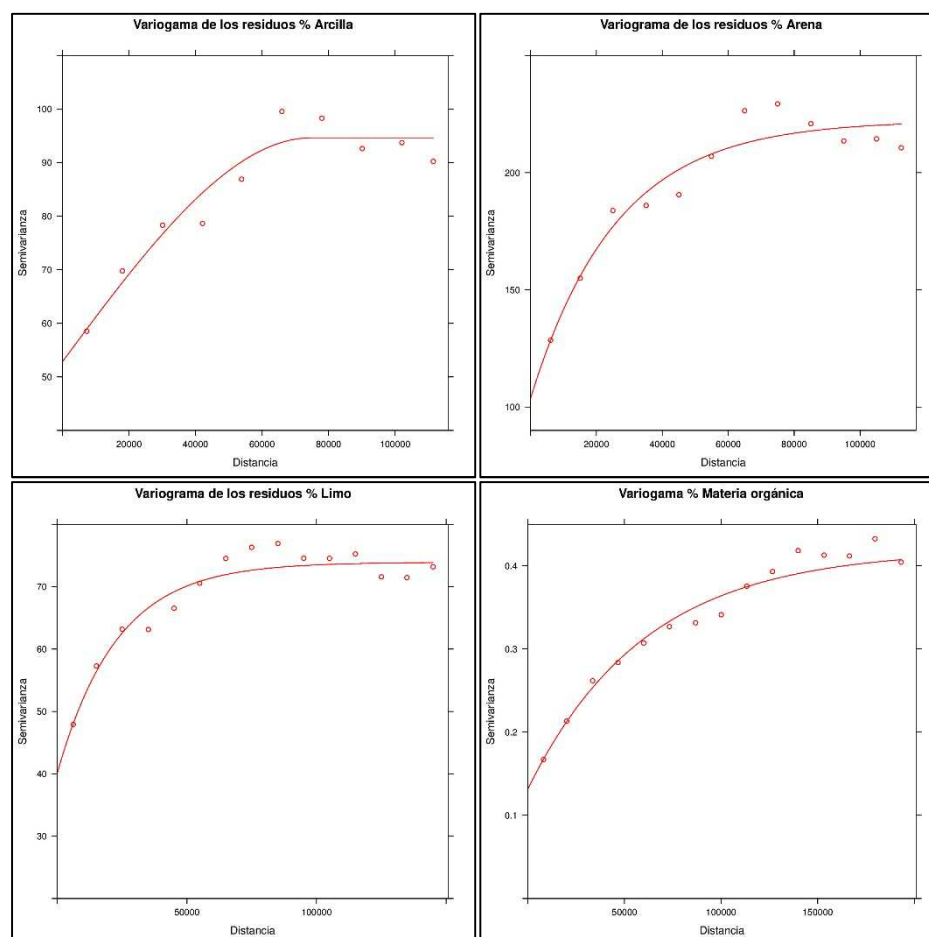


Figura 3. Semi-variogramas de los residuos tras el ajuste de la parte determinista del contenido de arcilla, limo y arena. El de MO corresponde a los propios datos.

Según Matheron (1969), el valor de la variable objetivo en una localización no visitada se puede describir como la suma de tres componentes: una componente estructural o determinista, una parte aleatoria con variación local y una parte residual relacionada con el ruido de la variable a distancias pequeñas.

Hengl, T. et al. (2004) concreta esta idea en un marco de trabajo genérico para la predicción de variables de suelo mediante Regression-Kriging. Posteriormente, en 2009 el mismo autor, actualiza este marco genérico. Este es el marco de trabajo que se adoptó en este proyecto. Así para la parte determinista, se estableció un modelo lineal de regresión múltiple con todas las variables auxiliares que pudieran explicar la variabilidad de los datos de entrada (o al menos una parte de ella) y que se han explicado en el apartado materiales de esta comunicación. Una vez aplicado este modelo, se extrajeron los residuos de cada muestra y se comprobó la existencia de correlación espacial. Hecha esta comprobación, se definió el semi-variograma y se interpolaron los residuos mediante Kriging. Por último, el resultado de esta interpolación se añadió a la predicción de la parte determinista para obtener, de esta forma, un mapa por cada una de las variables texturales y de MO.

Hengl, T. (2009) hace una descripción de todas las variantes que existen de esta metodología y cuáles son las diferencias entre ellas. Según esa descripción, la metodología aquí empleada se correspondería con la denominada Regression-Kriging, si bien es cierto que también podría corresponder con Universal-Kriging. Por simplicidad, en el texto asumiremos que se trata de Regression-Kriging (RK).

Los mapas de materia orgánica

En el caso de la MO, se trató de seguir la misma metodología que para los mapas de textura. Sin embargo, se observó que la parte determinista del modelo, utilizando la misma información auxiliar que en el caso anterior, no era capaz de explicar la variabilidad de los datos. Por otra parte, se vio que la propia variable mostraba cierta correlación espacial. Por lo tanto, para la MO se optó por realizar una interpolación mediante Ordinary-Kriging (OK) sin variables auxiliares.

Los mapas de características hidráulicas

Para la confección de estos mapas se aplicaron directamente, mediante algebra de mapas, las ecuaciones de Saxton et al. (2006).

4- Resultados y Discusión

Descripción de los suelos a nivel municipal

Los resultados de esta parte del trabajo fueron dos tablas:

- GRUPOS_DE_SUELOS: su creación se ha descrito en el epígrafe titulado “Creación de los grupos de suelo a nivel municipal” del apartado “3.2- Métodos”, y tiene el aspecto que se puede observar en la Tabla 1.
- TIPOS_GENERALES_DE_SUELOS: esta tabla (ver la Tabla 2) recoge la media y la mediana (por simplicidad no mostrada en la tabla) del agua disponible total y la permeabilidad de los 16.070 datos utilizados para los GRUPOS_DE_SUELOS, para cada una de las clases de textura presentes en la comunidad autónoma de Castilla y León.

Tabla 1. Primeros registros de la tabla GRUPOS DE SUELOS.

C_CODIGO_CAT	GrupoADT	NºMuestras	ADT_Vol	Perme_mm_h	GrupoTextura
05001	11	1	0.075	15	Moderadamente fina
05005	21	1	0.074	28	Moderadamente gruesa
05005	22	1	0.096	2	Fina
05008	41	1	0.059	37	Moderadamente gruesa
05008	42	2	0.065	74	Gruesa
05008	43	1	0.115	2	Fina
05010	11	1	0.132	32	Moderadamente gruesa
05014	21	1	0.085	21	Moderadamente fina
05014	22	1	0.105	11	Moderadamente fina
05016	41	8	0.052	76	Gruesa
05016	42	4	0.068	30	Moderadamente gruesa
05016	43	1	0.106	9	Moderadamente fina
05017	11	1	0.094	3	Moderadamente fina

05021	41	1	0.031	160	Gruesa
05021	42	2	0.086	60	Moderadamente gruesa
05021	43	2	0.108	51	Moderadamente gruesa
05023	41	4	0.055	50	Moderadamente gruesa
05023	42	3	0.093	11	Moderadamente fina
05023	43	2	0.14	8	Moderadamente fina
05025	11	1	0.089	12	Moderadamente fina
05026	41	3	0.048	73	Gruesa
05026	42	4	0.071	32	Moderadamente gruesa
05026	43	2	0.108	7	Moderadamente fina

Tabla 2. TIPOS GENERALES DE SUELOS.

Textura	NºMuestras	ADT_Vol Promedio	Perme_mm_h Promedio	GrupoTextura
Arenosa	572	0.041	266	Gruesa
Arenoso franca	1198	0.056	82	Gruesa
Franco arenosa	5585	0.09	36	Moderadamente gruesa
Franco areno arcillosa	2415	0.103	10	Moderadamente fina
Arcillo arenosa	96	0.111	2	Fina
Arcillosa	1030	0.126	2	Fina
Franca	2523	0.133	15	Media
Franco arcillosa	2087	0.135	4	Moderadamente fina
Arcillo limosa	105	0.142	4	Fina
Franco limo arcillosa	130	0.161	6	Moderadamente fina
Franco limosa	329	0.17	29	Media

Los mapas regionales de textura

El resultado de la metodología de interpolación descrita anteriormente es un conjunto de imágenes de 500 m de resolución, una por cada variable de textura y otra de contenido de MO. Las cuatro se muestran en la figura 4.

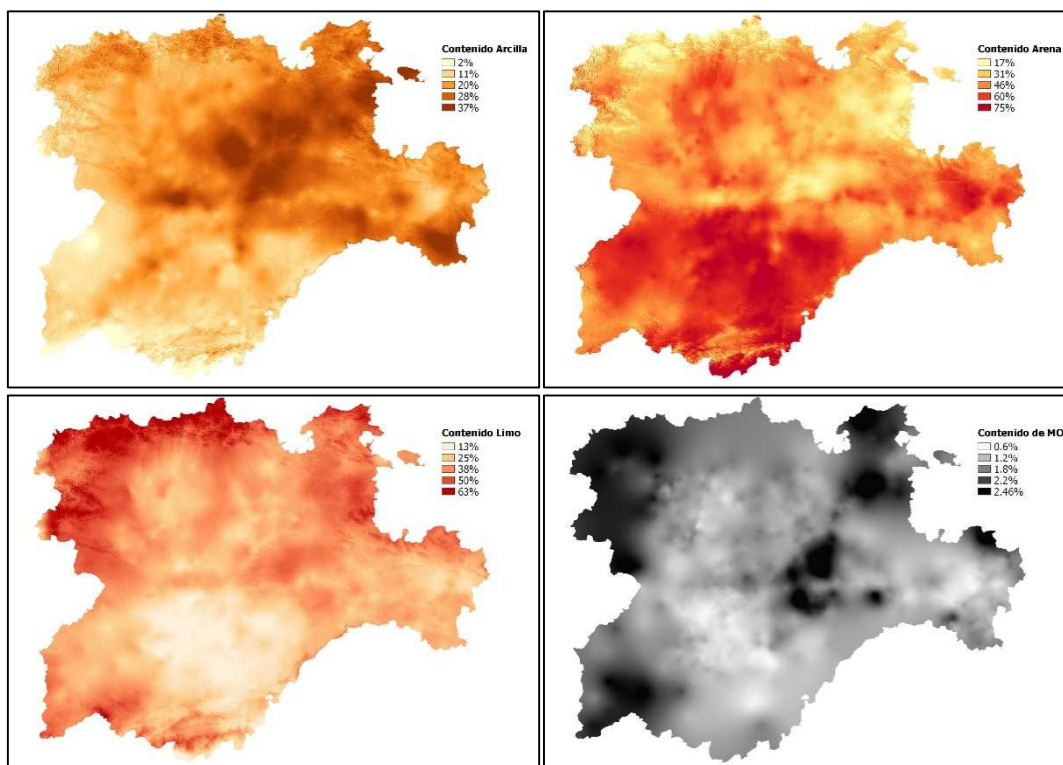


Figura 4. Resultado de los mapas interpolados para la textura y para la MO (de izquierda a derecha y de arriba a abajo: %Arcilla, %Arena, %Limo, %MO).

Visualmente estos mapas parecen coherentes con la distribución geográfica de los datos de entrada y con el conocimiento general que se tiene sobre los suelos de la región. Evidentemente y aparte de esta valoración subjetiva, el resultado también se sometió a dos validaciones analíticas: la primera sobre una muestra aleatoria del 10% de los datos originales retirada al comienzo del proceso, y, la segunda, mediante el método de validación cruzada sobre los propios datos que entraron en el modelo. Ambas validaciones arrojaron un resultado similar, como se puede ver en la tabla 3.

Tabla 3. Resultado de la validación de los mapas de textura y MO

Variable	Método de interpolación	Nº de datos de entrada	Nº de datos de test	RMSE CV-10 fold	RMSE Test
Arcilla	Regressio-Kriging	6.304	620	8,48%	8,33%
Limo	Regressio-Kriging	6.304	620	7,57%	7,61%
Arena	Regressio-Kriging	6.304	620	12,17%	12,26%
MO	Ordinary-Kriging	6.850	675	0,44%	0,44%

Los valores analíticos obtenidos en la validación indican que los mapas interpolados recogen la tendencia general tanto espacial como cuantitativa de las variables interpoladas y los hace idóneos para su uso a pequeñas escalas. Este fue, precisamente, uno de los propósitos de este trabajo. No obstante, la varianza del resultado aconseja una revisión de los resultados obtenidos al utilizar estos mapas como datos de entrada en otro proceso.

El origen de esta variabilidad en el resultado hay que buscarlo en el propio origen de los datos. Los datos almacenados en la *Base de datos* provienen mayoritariamente de muestras realizadas para prescribir recomendaciones de abonado, por lo que, en muchos casos, son datos medios de parcela con una georreferencia aproximada. Por otra parte, las determinaciones analíticas del contenido de arena, limo y arcilla pueden arrojar resultados variables de unos laboratorios a otros.

Los mapas regionales de características hidráulicas

Los mapas de características hidráulicas se obtuvieron, como se explicó en la metodología, mediante la aplicación directa de las fórmulas empíricas de edafotransferencia propuestas por Saxton en 2006. De esta forma, se obtuvieron los mapas de humedad a capacidad de campo, a punto de marchitez y en saturación. Además, las FET permitieron obtener un mapa de permeabilidad en saturación.

En este caso, no se realizó una validación de los resultados ya que este estudio está comprendido en la publicación de Saxton.

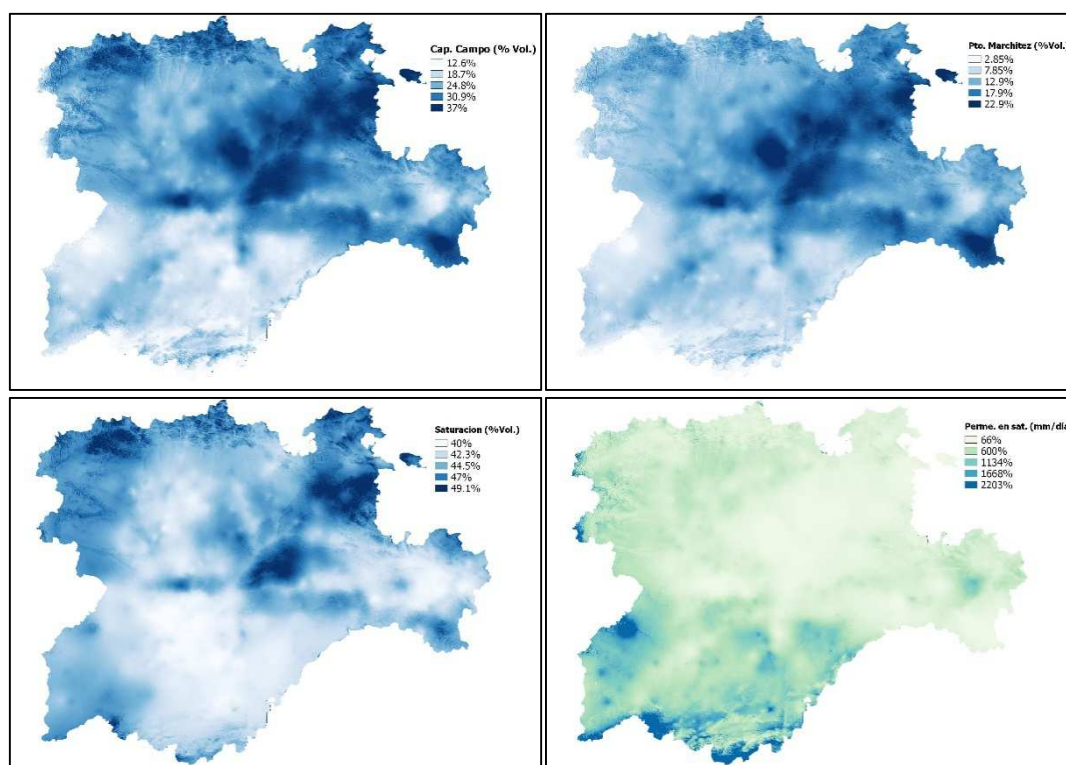


Figura 5. Imágenes de las características hidráulicas de los suelos. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: humedad a capacidad de campo, punto de marchitez, en saturación y permeabilidad en saturación.

Aplicaciones prácticas de los resultados.

Los resultados obtenidos mediante este trabajo dan una estimación de las propiedades hidráulicas del suelo a nivel municipal y regional y son útiles en aquellas zonas donde no exista información más detallada, precisa y exacta. Así, por ejemplo, y a nivel más práctico, estos datos podrían entrar como parámetro inicial en los sistemas de asesoramiento al regante a la hora de realizar balances hídricos o ajustar las dosis de riego. De esta forma, el sistema podría sugerir al usuario en función de su localización geográfica un valor inicial y, éste, de forma interactiva, lo aceptaría o lo actualizaría según su conocimiento del terreno.

En este sentido y también como aplicación práctica, se plantea la utilización de estos mapas en la realización de estimaciones del contenido de humedad superficial del suelo mediante imágenes de satélite SAR Sentinel-1 y en la ejecución de modelos agronómicos. Estos modelos simulan el desarrollo de los cultivos y necesitan como dato de entrada, entre otros muchos, la descripción de las propiedades físicas del suelo. Con esta información los modelos hacen, de una forma u otra, un balance hídrico para calcular el volumen de agua disponible para la planta. Algunos de estos modelos, incluso, ofrecen la posibilidad de

calcular el volumen de agua necesario para llevar el perfil del suelo a capacidad de campo, lo que supone, a efectos prácticos, la dotación de riego.

5- Conclusiones

- El resultado de este trabajo pone de manifiesto la utilidad de la *Base de datos de los suelos de Castilla y León* desde un punto de vista agronómico y su posible aplicación directa a la estimación, tanto a nivel regional como a nivel municipal, de la dosificación del agua de riego necesaria para los cultivos.
- El proyecto *Suelos de Castilla y León* se ha convertido en la referencia para la recopilación, unificación y distribución de la información cartográfica edafológica de la región. Esto ha sido posible gracias a la colaboración de las distintas organizaciones y entidades que han aportado la información de suelos que han ido recopilando en su trabajo cotidiano.
- La utilización de métodos geoestadísticos pone de manifiesto la necesidad de una rigurosa y fiable georreferenciación de los puntos de muestra, ya que de lo contrario la correlación espacial no sería caracterizada correctamente y los mapas obtenidos tendrían una mayor incertidumbre. Además, cuanto mayor número de muestras haya y mejor distribuidas espacialmente estén, mejor será la calidad de los mapas resultantes.

6- Agradecimientos

Agradecemos la buena disposición de todas las personas y organismos gracias a los cuales ha sido posible la creación de la *Base de datos de los suelos de Castilla y León*. En concreto queremos citar a las entidades con las que el ITACyL ha establecido convenios de colaboración:

- Asociación de Investigación para la Mejora del Cultivo de la Remolacha Azucarera (AIMCRA)
- Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IRNASA-CSIC)
- Asociación Agraria Jóvenes Agricultores de Soria (ASAJA-So)
- Instituto Nevares de Empresarios Agrarios (INEA)
- Diputación de León

7- Bibliografía

Burrrough, P.A. and McDonnel, R.A. (1998). Principles of geographical information system. Oxford University Press.

Hans, J. (1994). Factors of Soil Formation. A System of Quantitative Pedology. DOVER PUBLICATIONS, INC.

Hengl, T. (2009). A practical guide to geostatistical mapping. Office for Official Publications of the European Communities. Recuperado de <http://spatial-analyst.net/book/download>

Negreiros, J., Painho, M., Aguilar, F. and Aguilar, M. (2010). Geographical Information Systems Principles of Ordinary Kriging Interpolator. Journal of Applied Sciences 10(11): 852-867.

Pebesma, E.J. (2004). Multivariable geostatistics in S: the gstat package. Computer & Geosciences 30(7), 683-691.



Saxton, K.E. and Rawls, W.J. (2006). Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. Soil Science Society of America Journal. Vol. 70.