

Edafología. Volumen 7-2. Mayo 2000. pag 17-28.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y MÉTODOS DE TOMA DE DECISIONES APLICADOS A LA ORDENACIÓN DEL TERRITORIO: CASO DE CAMPILLOS (HOJA TOPOGRÁFICA 1022. ESCALA 1:50.000)

Fernando del Moral Torres, Sergio de Haro Lozano; Juan A. Sánchez Garrido; Sebastián T. Sánchez Gómez.

Departamento de Edafología y Química agrícola. Universidad de Almería. Ctra Sacramento s/n. La Cañada de San Urbano. 04120 Almería

RESUMEN

Se han aplicado SIGs y métodos de apoyo a la toma de decisiones sobre mapas temáticos obtenidos mediante interpolaciones geoestadísticas de 177 muestras reales, con objeto de establecer el procedimiento de trabajo y la adecuación de dos de las formas de uso del territorio principales de Andalucía, olivar y rotación trigo-girasol, en la hoja de Campillos (1022). El olivar presenta mayores índices de adecuación en *Regosoles* con más del 60% del total de la superficie planificada para dicho cultivo y *Calcisoles* con más del 30%, mientras que la rotación trigo/girasol ocupa su mayor superficie en *Calcisoles*, seguida por los *Vertisoles*. Según el cultivo mayoritario por cada tipo de suelo, el olivar dominaría en los *Regosoles*, los *Antrosoles* y los pocos *Leptosoles* cultivables y los dedicados principalmente a extensivos debieran ser los *Luvsoles*, los *Cambisoles* y los *Vertisoles*. *Fluvisoles* y *Calcisoles* podrían soportar igualmente ambos usos.

INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento del nivel de vida y las exigencias de conservación y calidad en los países desarrollados o bien debido a los aumentos de población y necesidades de crecimiento económico por parte de los países

subdesarrollados, las presiones ejercidas sobre los medios naturales cada vez son más importantes. En este contexto, la tarea encomendada a los gestores de recursos es especialmente complicada: Existen pocas elecciones claras y la necesidad de puesta en uso de terrenos marginales enfrenta a dichos gestores con un amplio rango de incertidumbres y riesgos (Eastman, 1997).

Para escoger una de las alternativas posibles, el decisor tiene diversos puntos de vista, denominados comúnmente *criterios*, que son parcialmente contradictorios en el sentido en que si el decisor adopta uno de dichos puntos de vista, por ejemplo minimización de los riesgos, no escogerá la misma alternativa que si se basa en otro criterio, por ejemplo el de mejor rendimiento (Barba-Romero y Pomerol, 1997)

Pretendemos con este trabajo combinar dos sistemas de gestión de la información: sistemas de información geográfica (Idrisi) y métodos de toma de decisiones multicriterio (Proceso analítico jerarquizado (AHP) de Saaty) con objeto de decidir, para la hoja topográfica 1022, correspondiente a Campillos, las áreas más favorables para las dos grandes alternativas comunes en la zona, a saber, olivar o rotación trigo-girasol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Partiremos de mapas temáticos de cada una de las propiedades que se detallan a continuación ([Tabla 1](#)), obtenidos a partir de métodos geoestadísticos aplicados sobre 177 muestras, recogidas sobre una malla regular en la hoja de Campillos (Del Moral *et al.*, 2000). Dichos métodos geoestadísticos nos permiten disponer de datos continuos en cualquier punto del territorio de la hoja 1022, sujetos tan sólo a la resolución de celda de los mapas.

Puesto que cada variable está expresada en sus propias unidades, se hace necesaria una homogeneización previa de los datos que permita su posterior combinación y la elaboración de mapas de adecuación del territorio a los diferentes usos. Si admitimos que las variables temáticas son continuas, el establecimiento de clases con límites absolutamente definidos resulta problemático y parece más lógico pensar que la transición entre una clase y la siguiente debería ser gradual. Esta premisa permite denominar a cada una de estas clases, sin límites definidos, como conjunto *difuso* (*fuzzy set*) ([nota 1](#)).

Un conjunto difuso está caracterizado por una función de pertenencia a dicho conjunto, cuyo recorrido oscila entre cero y uno (desde la no pertenencia a la clase hasta la pertenencia absoluta). El sistema de información geográfica

IDRISI ofrece cuatro tipos de funciones de pertenencia: *Sigmoidal*: La función sigmoïdal es la más frecuentemente utilizada dentro del ámbito de la teoría de conjuntos difusos, y se representa mediante la función coseno; *En forma de jota (J-shaped)*: Similar a la función sigmoïdal, la función en forma de J se aproxima de manera indefinida a cero, de manera que el eje de abscisas constituye una asíntota horizontal de la función; *Lineal*: Esta función es ampliamente utilizada en sistemas electrónicos aunque en ocasiones puede aplicarse en sistemas de evaluación de tierras, simplificando la función sigmoïdal; *Definida por el usuario*: Utilizada en las ocasiones en que ninguna de las anteriores es aplicable.

La elección de la función utilizada dependerá del conocimiento de las relaciones existentes entre el criterio en cuestión y el conjunto de decisión. Para poder elegir adecuadamente debemos conocer exhaustivamente los requerimientos de los cultivos para los cuales evaluaremos el territorio, no sólo como especie sino incluso como variedades. A continuación se indica de forma resumida ([Tablas 2 y 3](#)), una vez considerados los requerimientos de los cultivos, el tipo de criterio asignado a cada propiedad, el tipo de función que representa a cada factor y el valor de los puntos que permiten representar dicha función ([nota 2](#)).

Sigmoidal cresc. hace referencia a la función sigmoïdal creciente; *Sigmoidal decrec.* hace referencia al tipo decreciente; *Sigmoidal est.* hace referencia a una función sigmoïdal simétrica que crece hasta uno, permanece estable y luego decrece. Lo mismo cabe decir de la función en forma de J (J-shaped).

Una vez clasificados los criterios y determinado el tipo de función, con sus parámetros característicos, el siguiente paso consistirá en tipificar los mapas temáticos originales con objeto de reducirlos todos a una misma escala de valor ($0 \leq x \leq 1$ o $0 \leq x \leq 255$). Dicha operación se realizará con el módulo FUZZY del S.I.G. IDRISI ([Figura 1](#)).

Con los mapas temáticos tipificados, correspondientes a cada una de las propiedades indicadas en las tablas anteriores, el siguiente paso consistirá en desarrollar los factores de ponderación aplicables a cada mapa en el proceso de combinación lineal intrínseco del método AHP, con la condición ineludible de que la suma de dichos factores de ponderación sea igual a la unidad.

Para ello recurriremos, como parte del método, al proceso de comparaciones pareadas según la técnica propugnada por Saaty (1977, 1980). En dicha técnica, los factores de ponderación se obtienen tras el cálculo del autovector dominante de la matriz cuadrada recíproca de comparaciones pareadas entre los criterios en cuestión. Las comparaciones entre los pares de criterios

establecerán la importancia relativa que un criterio tiene sobre su par, en una escala continua desde el 1 al 9, donde 1 representa igualdad de importancia y 9 representa la máxima importancia relativa de una propiedad sobre otra.

A continuación, basándonos en la escala anterior, elaboramos las matrices respectivas para la rotación trigo/girasol y olivo ([Tablas 4 y 5](#)). Los números de las variables en la matriz de comparación corresponden con los dados en la [tabla 1](#).

La interpretación de los valores de la matriz es sencilla: si creemos que la propiedad situada en la primera columna presenta gran importancia frente a la colocada en la primera fila colocaremos un 7. Si consideráramos justo lo contrario, es decir que la importancia de la propiedad colocada en la primera fila es mucho mayor que la importancia de la colocada en la primera columna, colocaremos 1/7. Las partes incompletas de las matrices anteriores presentarían los valores inversos en las celdas simétricas correspondientes tal como se indica en la tabla dedicada a la rotación trigo/girasol.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el análisis de las matrices y el cálculo del autovector dominante fue necesario desarrollar una hoja de cálculo, ya que el programa IDRISI sólo permite la incorporación de 15 variables en el proceso. El autovector dominante de las matrices, que contiene los factores de ponderación aplicables a cada mapa se muestra en la [tabla 6](#).

De este modo se ha conseguido implícitamente establecer una jerarquización de los criterios que intervienen en el proceso de decisión. Las diferencias principales entre ambos tipos de cultivo residen en la primacía de la precipitación total sobre los afloramientos rocosos, del drenaje sobre la pedregosidad y del carbono orgánico, el porcentaje de arcilla y la estabilidad estructural sobre el contenido en carbonato cálcico en el caso del olivar y respecto a la rotación trigo/girasol. Como puede observarse, la importancia relativa de cada criterio dentro del total para cada cultivo también varía.

El proceso de evaluación multicriterio emprendido hasta el momento terminará con la multiplicación de cada mapa tipificado por su factor de ponderación correspondiente, sumando a continuación los mapas resultantes. Esto nos permitirá obtener un único mapa de adecuación para cada uno de los cultivos que variará desde cero (adecuación nula) a uno (adecuación total), con variación continua ([Figuras 2 y 3](#)).

Según nuestra opinión, el papel de un edafólogo dentro del proceso de ordenación del territorio finalizaría en este punto. Quedaría en manos de los estamentos políticos decidir el peso que cada uno de los cultivos debería tener en cada porción del territorio, en función de los condicionantes sociopolíticos del momento.

No obstante, presentaremos a continuación una tentativa de ordenación del territorio para estos dos cultivos, suponiendo que el objetivo determinante es conseguir la adecuación máxima ([Figura 4](#)).

Según esta propuesta de ordenación, el olivo ocuparía la mayor parte del territorio. En función del tipo de suelos, tal como se muestra en la [figura 5](#) y en la [5B](#) y como en principio parece lógico, el olivar presenta mayores índices de adecuación en *Regosoles* con más del 60% del total de la superficie planificada para dicho cultivo y *Calcisoles* con más del 30%, mientras que la rotación trigo/girasol ocupa su mayor superficie en *Calcisoles*, seguida por los *Vertisoles*. Si lo que comparamos es el tipo de cultivo mayoritario en cada tipo de suelo, observamos que, según la [figura 6](#), los suelos que debieran estar dedicados en su mayoría a olivar son los *Regosoles*, los *Antrosoles* y los pocos *Leptosoles* cultivables. Los dedicados principalmente a extensivos debieran ser los *Luvsoles*, los *Cambisoles* y los *Vertisoles* principalmente. *Fluvisoles* y *Calcisoles* podrían dedicarse a cualquiera de las dos alternativas.

CONCLUSIONES

El territorio comprendido en la hoja de Campillos tradicionalmente ha estado dedicado a pastos y dehesas para el ganado bravo y a cultivos extensivos, aunque actualmente dichos cultivos se están reemplazando progresivamente por el olivar. No podemos entrar a valorar si se trata de una cuestión coyuntural, debida al tipo de subvenciones al cultivo del olivo, al buen precio del aceite de oliva, o bien si es una consecuencia de la pérdida de fertilidad del terreno, y por tanto de los rendimientos como consecuencia de las malas prácticas de cultivo. Sin embargo, lo que sí parece cierto es que en casos como estos, los sistemas de evaluación, los sistemas de información geográfica y los métodos de toma de decisiones tienen un papel que desempeñar en el proceso de ordenación del territorio, siempre y cuando los propietarios de las fincas se muestren de acuerdo.

Fuera de estas cuestiones coyunturales, los sistemas de evaluación tienen la *manía* de indicarnos que los cultivos que se están realizando en los países desarrollados están bien donde están, y que los suelos que mejor se están

aprovechando son los de mayor capacidad de uso. Ciertamente es que pueden indicarnos las mejoras necesarias para aumentar la capacidad agronómica del terreno, o prevenir riesgos de erosión o contaminación (Edwards y Rosewell, 1990; Ogunkunle, 1993) que, con ser cuestiones importantes, no constituyen el objetivo prioritario del proceso evaluador.

Opinamos, y no es una opinión original, que es necesario dar un nuevo impulso a los sistemas de evaluación del territorio en los países desarrollados, donde lo que prima no es el aumento de producción sino la calidad de la misma, enfocándolos hacia tres grandes objetivos integrados en el mismo sistema: modelado y predicción de cosechas (De la Rosa *et al.*, 1992; Johnson y Cramb, 1991, Hennebert *et al.*, 1996), evaluación económica del uso de la tierra (Rossiter, 1995) y toma de decisiones sobre la localización de nuevas variedades de especies ya implantadas o nuevas formas de manejo de los sistemas agrarios (Jaiyeoba, 1995). Tanto para el primer objetivo como para el segundo es necesaria una gran cantidad de trabajo investigador capaz de proporcionar datos exhaustivos del comportamiento de las distintas variedades bajo diferentes condiciones, tipos de suelo y sistemas de cultivo, integrándolos posteriormente en sistemas de bases de datos accesibles por los sistemas de información geográfica (Burrough, 1989; Batjes, 1997).

BIBLIOGRAFÍA

Barba-Romero, S. y Pomerol, J.C. (1997) Decisiones multicriterio. Fundamentos teóricos y utilización práctica. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares.

Batjes, N. (1997) *A world dataset of derived soil properties by FAO-UNESCO soil unit for global modelling.* Soil Use and Management, 13: 9-16.

Burrough, P.A. (1989) *Matching spatial databases and quantitative models in land resource assessment.* Soil Use and Management, 5(1): 3-8.

De la Rosa, D. et al. (1992) *MicroLEIS: A microcomputer-based Mediterranean land evaluation information system.* Soil Use and Management, 8 (2):89-96.

Del Moral, F. et al. (2000) *Génesis, cartografía y evaluación de suelos en Campillos-1022 (Málaga)*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería. Almería.

Eastman, J.R. (1997) *Idrisi for windows. User's guide*. Idrisi Production. Clark University. Worcester. USA.

Edwards, K. y Rosewell, C.J. (1990) *Evaluation of alternative land management and cropping practices for soil conservation*. Soil Use and Management, 6(3): 120-124.

Hennebert, P.A. et al. (1996) *Validation of a F.A.O. land evaluation method by comparison of observed and predicted yields of five food crops in Burundi*. Soil Use and Management, 12: 134-142.

Jaiyeoba, I.A. (1995) *Changes in soil properties related to different land uses in part of the Nigerian semi-arid Savannah*. Soil Use and Management, 11: 84-89.

Johnson, A.K.L. y Cramb, R.A. (1991) *Development a simulation based land evaluation system using crop modelling, expert system and risk analysis*. Soil Use and management, 7(4): 239-246.

Mitra, B. et al. (1998) *Applications of fuzzy logic to the prediction of soil erosion in a large watershed*. Geoderma 86 (3-4): 183-209.

Ogunkunle, A.O. (1993) *Soil in land suitability evaluation: an example with oil palm in Nigeria*. Soil Use and Management, 9(1): 35-40.

Rossiter, D.G.(1995) *Economic land evaluation: why and how*. Soil Use and Management, 11: 132-140.

Saaty, T.L. (1977) *A scaling method for priorities in hierarchical structures*.
Journal of mathematical Psychology, 15:234-281.

Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill.

FIGURAS Y TABLAS.

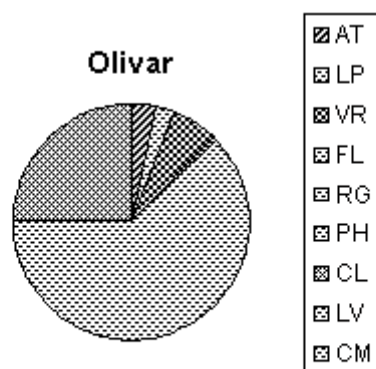


Figura 5.- Tipos de suelo (%) dedicados a cada forma de cultivo según la tentativa de ordenación de la figura 4.

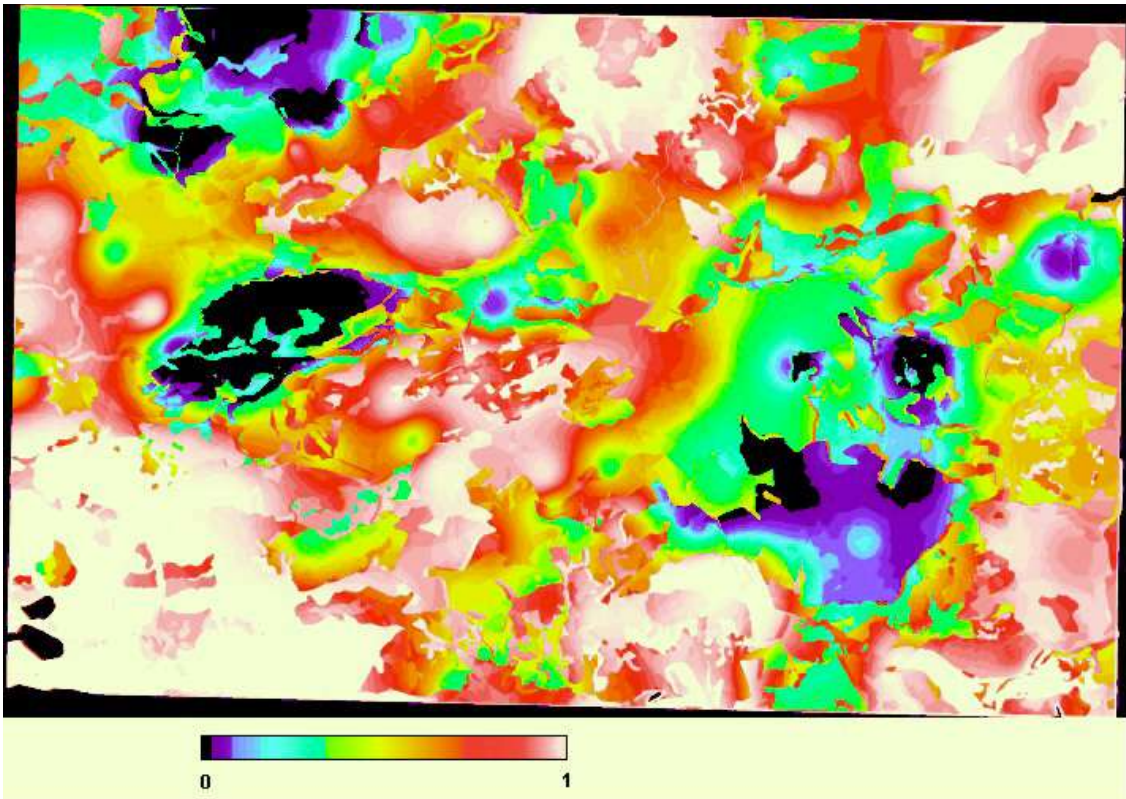


Figura 1 .- Ejemplo de mapa estandarizado según la teoría de las clases borrosas. La leyenda no puede ser más explícita que la representada dado el elevado número de valores diferentes presentados en la imagen.

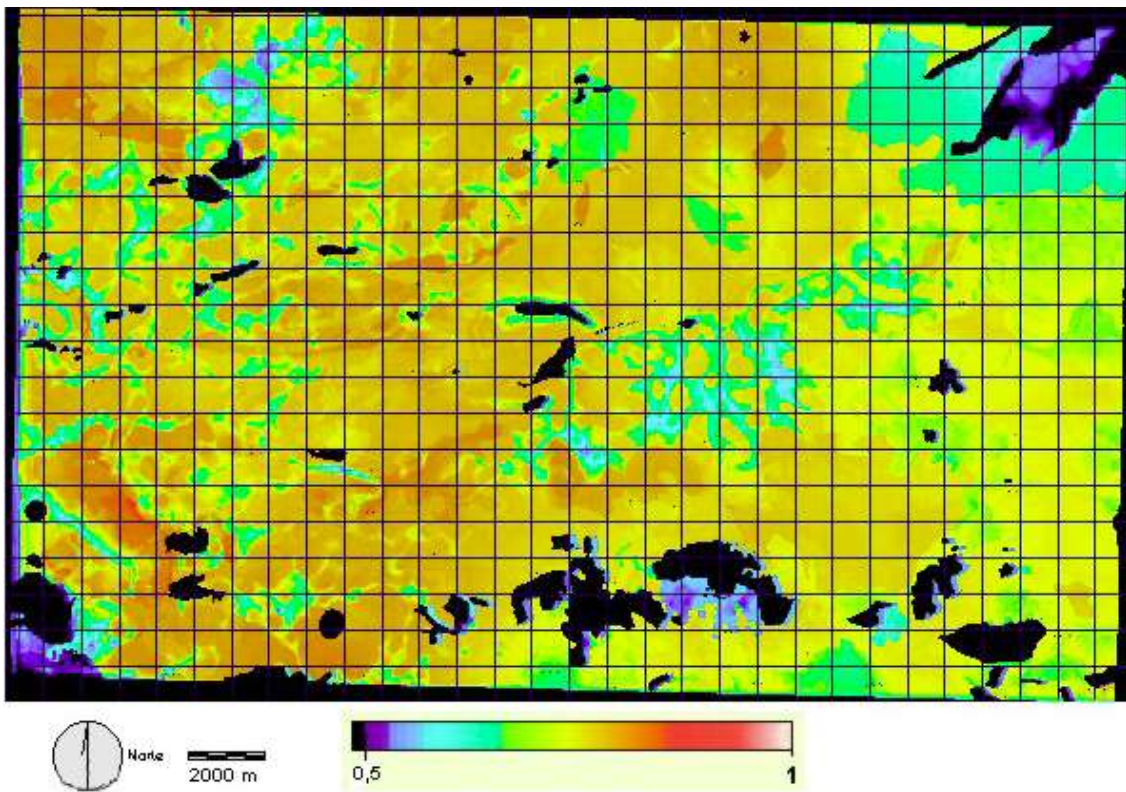


Figura 2 .-Adecuación del olivar en la hoja de Campillos, según una escala continua de cero a uno, tal como se describe en el texto.

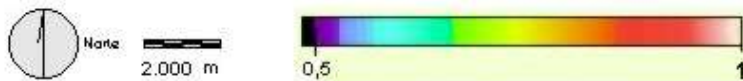
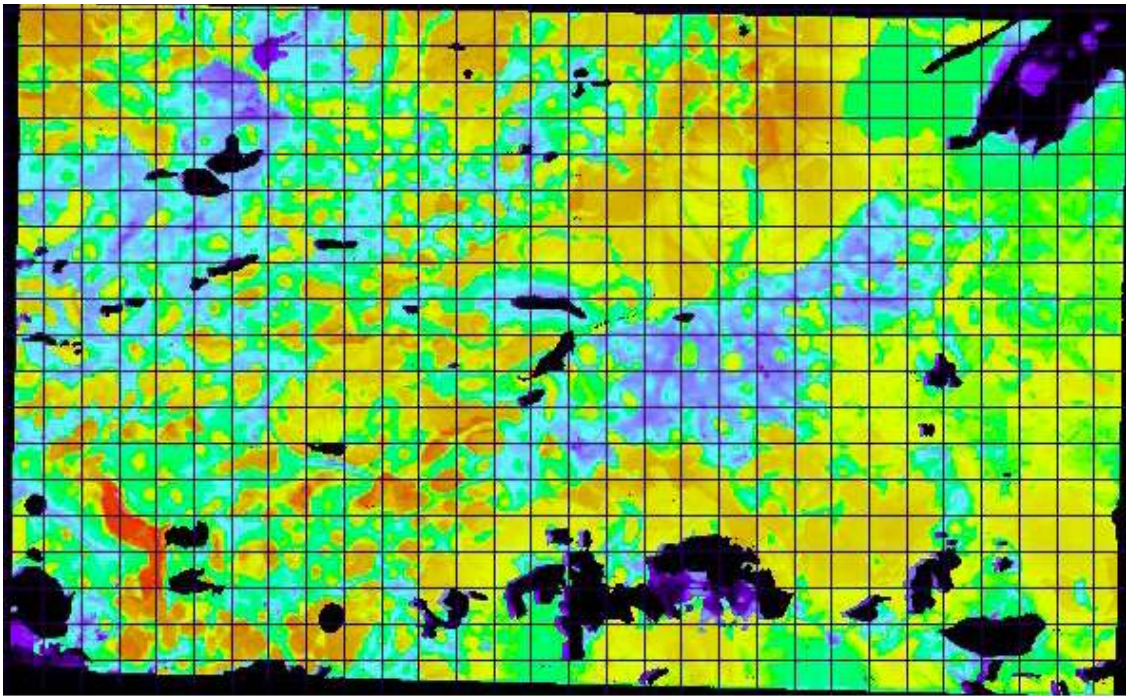


Figura 3.- Adecuación de la rotación trigo girasol en la hoja de Campillos, según una escala continua de cero a uno tal como se describe en el texto.

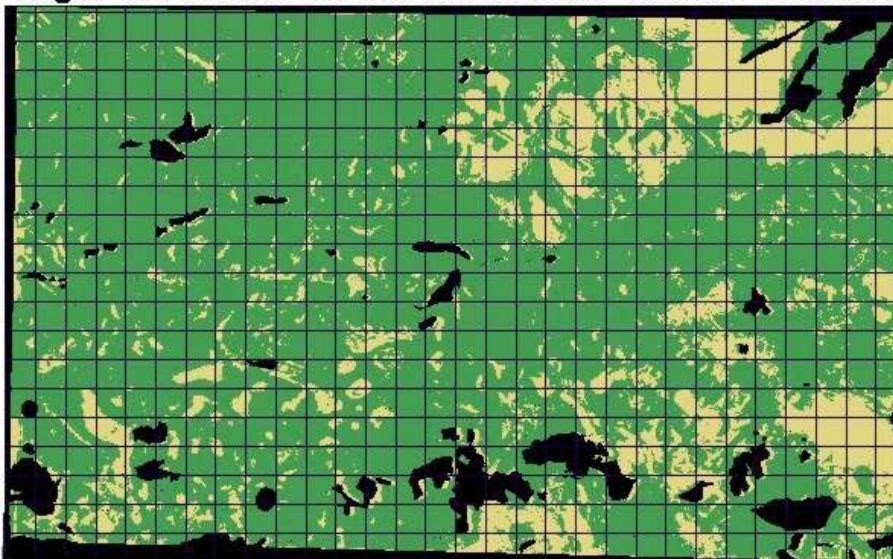


Figura 4.- Propuesta de ordenación del territorio para los dos usos discutidos, primando la máxima adecuación.

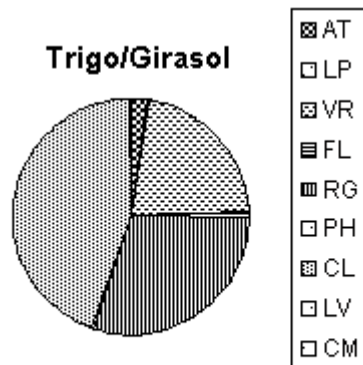


Figura 5B.- Reparto de cultivos en función del tipo de suelo, según la ordenación propuesta en la figura 4.

Tipo de cultivo por grupo de suelos

