



universidad  
de león



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES

**Análisis y optimización de los parámetros  
de evaluación de la capacidad de uso del  
suelo a partir del mapa de suelos**

**Analysis and optimization of the land use  
capacity evaluation parameters from the  
soil map**

Autor: Adrián González García

**GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**Junio, 2020**

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	4
3.1. Situación geográfica.....	4
3.2 Climatología.....	5
3.3 Geología y litología.....	5
3.4 Edafología.....	7
3.5 Vegetación y usos del suelo.....	8
4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	9
4.1. Material.....	9
4.2. Método.....	10
4.2.1. Evaluación.....	10
4.2.2. Análisis de datos.....	17
5. RESULTADOS.....	18
6. DISCUSIÓN.....	26
7. CONCLUSIONES.....	28
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
ANEXO I - Datos medios mensuales de temperatura, precipitación y evapotranspiración potencial según Thornthwaite.....	31
ANEXO II – Valoración y evaluación de parámetros para la obtención de FF, FQ y EG.....	32
ANEXO III – Representación espacial de los FF.....	35
ANEXO IV – Representación espacial de los FQ.....	38

## RESUMEN

El objetivo del trabajo es aplicar a 20 perfiles seleccionados de la cartografía provincial- Hoja 128 1:50k del MTN Riello (León)- el índice paramétrico del sistema Riquier, Bramao y Cornet adaptado por FAO (1970), determinando la capacidad general para uso como cultivos agrícolas, pastos o forestal mediante análisis geoestadístico. Se propone una mejora metodológica para la evaluación de la estabilidad estructural de agregados y de la reserva mineralógica. Los factores físicos (FF) y químicos (FQ) presentan una correlación lineal positiva (FF  $R^2=0,755$  y FQ  $R^2=0,013$ ), el ajuste lineal es mejor para los FF respecto a la Evaluación Global (EG). El índice medio obtenido es de  $EG=0,110$ , siendo la contribución media de los FF= $0,579$  y de los FQ= $0,354$ , limitando siempre los factores físicos, especialmente en el uso forestal ( $0,113$ ), seguido de cultivos ( $0,375$ ) y pastos ( $0,574$ ). Sin embargo, los factores químicos alcanzan valores medios superiores para el uso forestal ( $0,704$ ), seguido por pastos ( $0,595$ ) y cultivos ( $0,440$ ). Los aprovechamientos más favorables son los de práticamente ( $18,74\%$ ), seguidos por cultivos ( $10,78\%$ ) y siendo los forestales ( $3,10\%$ ) los menos adecuados. La representación espacial mediante IDW presenta los menores valores de RMSE, observándose relación entre la clasificación del suelo y capacidad general de uso.

**Palabras clave:** capacidad general, usos del suelo, método paramétrico, estabilidad estructural, reserva mineralógica.

## ABSTRACT

The objective of the work is to apply to 20 selected profiles from the regional cartography - Sheet 128 1:50k MTN Riello (León -the parametric index of the Riquier, Bramao & Cornet system adapted by FAO (1970), determining the general capacity for agricultural crops, pasture or forest use through geo-statistical analysis. A methodological improvement is proposed to evaluate the aggregates structural stability and the mineralogical reserve. The physical (FF) and chemical (FQ) factors present a positive linear correlation (FF  $R^2=0,755$  and FQ  $R^2=0,013$ ), and the linear fit is better suited to the FF with respect to the Global Assessment (EG). The average index obtained is  $EG=0,110$ , with the average contribution of FF= $0,579$  and FQ= $0,354$ , always limiting physical factors, especially in the forest use ( $0,113$ ), followed by crops ( $0,375$ ) and pastures ( $0,574$ ). However, chemical factors reach higher mean values for forest use ( $0,704$ ); followed by pasture ( $0,595$ ) and crops ( $0,440$ ). The most favorable uses are those of pasture ( $18,74\%$ ), while on the contrary, forest ( $3,10\%$ ) are the least suitable and also crops ( $10,78\%$ ). The spatial representation using IDW presents the lowest RMSE values, observing a relationship between soil classification and general use capacity.

**Key words:** general capacity, land use, parametric method, aggregate structural stability, mineralogical reservoir.

## 1.INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

En la actualidad, ha sido creciente el interés de gestionar el recurso suelo, en combinación con la aplicación del método científico, lo que ha permitido grandes avances tanto agrícolas como ambientales que han permitido llevar a cabo el crecimiento económico (Leiva, 2014). No obstante, la consecuencia inmediata de llevar a cabo una explotación del suelo sin considerar sus capacidades. Esto ha desembocado, en no pocas ocasiones, en una grave degradación del mismo; suponiendo en muchos casos una pérdida irreparable dado que no se considera el suelo como un recurso renovable, dando lugar a un importante impacto negativo socioeconómico y ambiental. La dinámica actual de las sociedades modernas trae consigo la necesidad de generar riqueza económica que permita el desarrollo de la vida más allá de la subsistencia. Esta visión favorece la explotación del medio natural que indudablemente presentan una incidencia económica, medioambiental o incluso política si no se alcanzan los objetivos fijados (Porta Casanellas *et al.*, 2003). Por tanto, es necesario asignar correctamente usos a un territorio estableciéndose una relación entre el medio y el hombre que ha de abordarse con ordenación rural (Blanco Sepúlveda y Larrubia Vargas, 2008), desde la cartografía tradicional a la generación de herramientas de evaluación en la ordenación y planificación territorial (Zinck, 1996; Beek *et al.*, 1997; Hurni, 2000). Por lo tanto, debe entenderse que un análisis de las capacidades y aptitudes de los suelos es, en última instancia la interpretación y procesamiento de aquellas características edáficas que definen los suelos de diferentes localizaciones. Será este principio de actuación el que permita llevar a cabo una evaluación de la productividad que segregará los suelos sometidos a estudio en base a su vocación agrícola o forestal, siendo necesario para su aplicación práctica combinarla con un estudio de vulnerabilidad que desemboque en el principio de sostenibilidad (de la Rosa, 2008). Posteriormente, la utilización de los datos obtenidos permite la creación de mapas de suelos con una finalidad práctica, siendo esta una herramienta de toma de decisiones sobre el recurso suelo de forma objetiva para optimizar los beneficios que puedan obtenerse de su explotación.

*“La evaluación de un terreno es una forma de clasificación del mismo y busca utilizar la gran cantidad de información que sobre él se dispone, para poder dar respuesta a las preguntas que sobre oportunidades y limitaciones de uso.”* (Porta Casanellas *et al.*, 2003, p. 637).

La aplicación de un sistema de evaluación de capacidad paramétrico se basa en la idoneidad de los suelos para usos generales (cultivos agrícolas extensivos, práticamente y cultivos arbóreos o aprovechamiento forestal); considerando el suelo como un factor determinante en la

productividad. Se incorporan propiedades y atributos de los mismos que puedan tener semejantes respuestas frente a distintos usos y manejos, lo que permite establecer una relación entre los valores obtenidos y los diferentes suelos de la zona, relacionándolo directamente con sus propiedades edáficas. Finalmente establece métodos de corrección y mejora de manejo del suelo (Lugo-Morín y Rey, 2009; Diaz Pereiro *et al.*, 2011). Por lo tanto, la capacidad general de uso se segrega en función de la vocación mencionada anteriormente, pero en ningún caso busca determinar qué uso concreto puede llevarse a cabo. En estos sistemas no se pronostica la aptitud relativa para un uso específico como puede ser un cultivo determinado (De la Rosa, 2008), siendo la definición específica de uso propio de los sistemas de aptitud. La naturaleza paramétrica del sistema hace que se fundamente en valoraciones cuantitativas (Añó Vidal *et al.*, 1997) pudiendo ser considerados, según De la Rosa (2008), como un método intermedio entre métodos cualitativos y modelos matemáticos avanzados (De la Rosa y Almorza Daza, 1979). Todo ello apoyado en los nuevos sistemas de tratamiento de datos con la finalidad de sistematizar el proceso de evaluación general (Flores y Parra, 1998; De la Rosa *et al.*, 2004).

La evaluación de los suelos en España ha estado caracterizada por la aplicación de la Clasificación de Capacidades Agrológicas, el método de Riquier *et al.* (1970), y los procedimientos de evaluación establecidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (Añó Vidal *et al.*, 1997). Algunos autores (Saa Requejo *et al.*, 1998) apuntan a la necesidad de adaptación de la metodología de zonificación agroecológica de la FAO para aplicaciones a diferentes niveles de zonificación en países. Las principales limitaciones según Dorronsoro (2002) serían que los diferentes métodos de evaluación pueden ser heterogéneos entre sí, por lo que deberían ser comparados tres o más

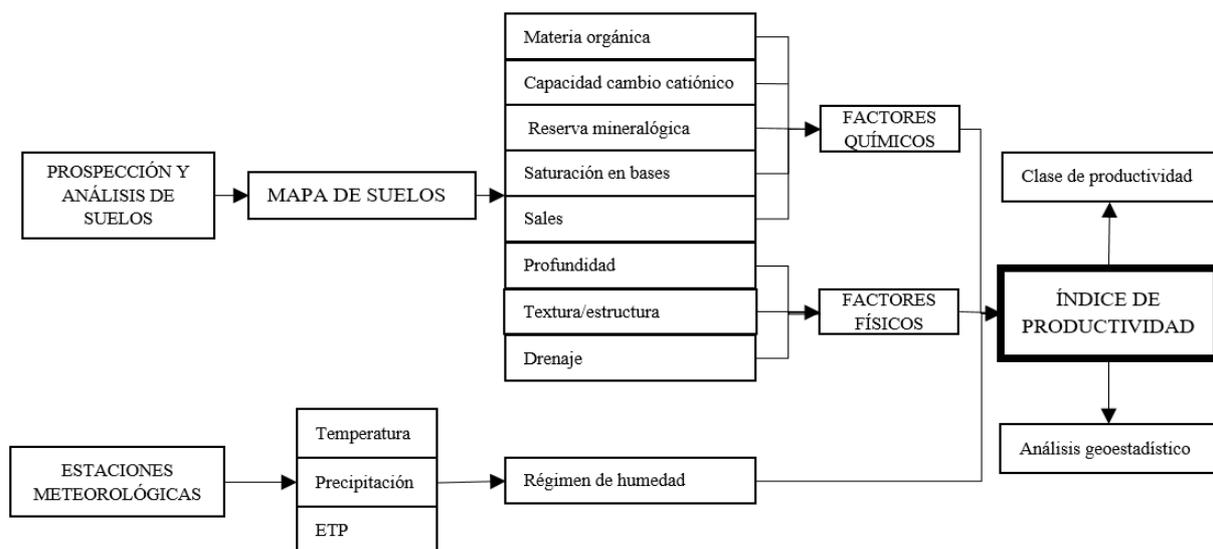


Figura 1.- Esquema de la metodología seguida en el presente trabajo. Fuente: adaptado a partir de Riquier *et al.*, 1970 y Porta Casanellas *et al.*, 2003.

sistemas de evaluación para determinar cuál de ellos se ajustaría más a la realidad, como base para reajustar el método (Vidal *et al.*, 2018). Desde su publicación el índice de Riquier *et al.* (1970) no ha tenido modificaciones reseñables a excepción de incluir la caliza como nuevo parámetro (Añó Vidal *et al.*, 1997) al aplicarlo en España. Trabajos como el de (Nieves *et al.*, 1986) muestran un alto grado correlativo entre el índice de productividad y el rendimiento de cultivo de trigo.

Tradicionalmente los sistemas de evaluación paramétrica de la capacidad de uso son por un lado, el Índice de Storie (1950) y, por otro, el Índice de Riquier *et al.* (1970), ambos multiplicativos, lo que permite seguir la «Ley del mínimo» de Leibig por la que el límite en el uso del suelo está determinado por las propiedades más desfavorables o limitantes independientemente de la idoneidad de otros factores (Dorronsoro, 2002). El primer índice se basa en el rendimiento de un determinado cultivo obviando los factores económicos que pudiesen condicionar la productividad habiendo sido aplicado en España y obteniéndose unos resultados muy poco representativos; por otro lado, el segundo índice determina la productividad actual y la potencial, su aplicación ha tenido un mayor grado de éxito (Añó Vidal *et al.*, 1997; Porta Casanellas *et al.*, 2003) justificando su aplicación en este trabajo con información de la productividad potencial actual. (Figura 1).

## **2. OBJETIVOS**

El objetivo general del trabajo es aplicar a 20 perfiles de suelos seleccionados de la cartografía edáfica regional un índice de potencialidad y capacidad general de uso para tres aprovechamientos del suelo: cultivos agrícolas, pastos o forestal. Se señalan los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar los parámetros físicos y químicos de los distintos tipos de suelos en base a la información cartográfica disponible.
- Comprobar si existe una relación espacial directa entre los parámetros edáficos evaluados y el mapa de suelos de la zona.
- Establecer, para aquellos parámetros donde la subjetividad en la evaluación posea un peso importante, un procedimiento normalizado que se ajuste al método.
- Optimizar la aplicabilidad del índice con la propuesta de una mejora del método semicuantitativo.



Tabla 1.- Figuras de protección presentes en el área de estudio. Fuente: Infraestructura de datos espaciales de Castilla y León IDECyL, 2007.

Figura de protección	Referencia
LIC	ES4130065 Riberas del Río Órbigo y afluentes
LIC	ES4130149 Omañas
ZEPA	ES0000364 Omañas

### 3.2 Climatología

Los datos con series temporales más largas de climatología del área de estudio se toman de las estaciones termopluviométricas de Murias de Paredes, San Martín de la Falamosa y Villameca (Figura 4). (Véase ANEXO I). La zona se caracteriza por un clima mediterráneo con influencia atlántica, situada en las regiones bioclimáticas Supramediterránea y Montana (Rivas-Martínez, 1987). En cuanto al régimen edafoclimático según Alonso *et al.* (2010) en la estación de Murias de Paredes se correspondería con el de tipo Údico, por otro lado, la estación de San Martín de la Falamosa presentaría un régimen Xérico. Respecto al régimen térmico la hoja se corresponde con un tipo Mésico.

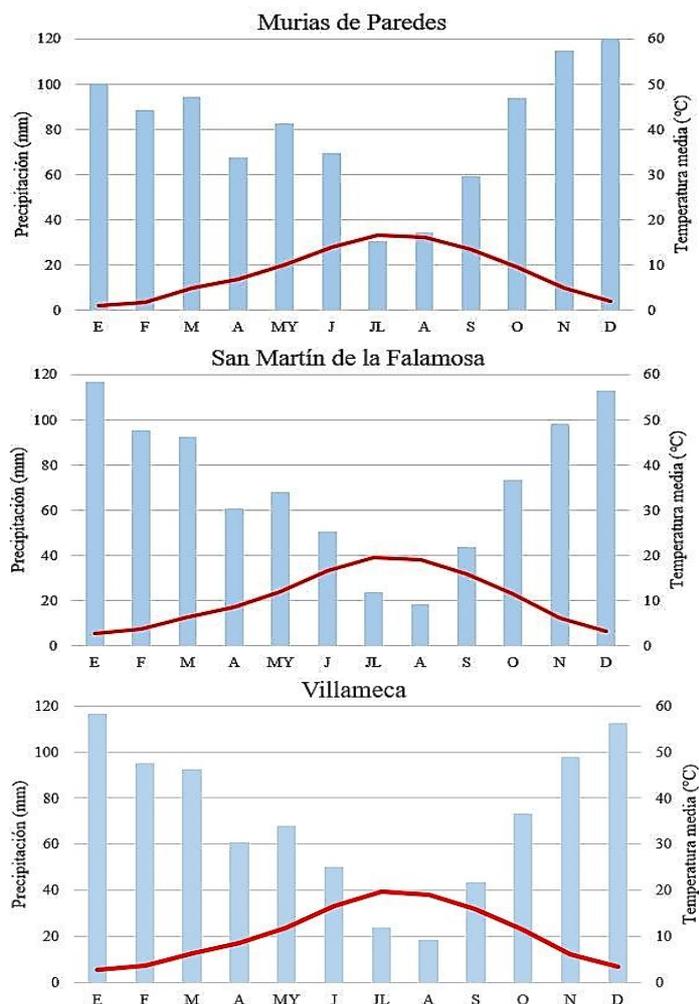


Figura 4.- Climograma de las tres estaciones de referencia. Fuente: a partir de Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, 1991.

### 3.3 Geología y litología

La zona está prácticamente en su totalidad localizada en la Zona Asturoccidental-Leonesa, a excepción de la parte nororiental correspondiente a la Zona Cantábrica (Instituto Geológico y Minero de España, 1994). La mitad norte presenta litologías del Precámbrico con pizarras, microconglomerados, areniscas y calizas dolomías intercaladas. Estas formaciones pertenecen a la Zona Asturoccidental-Leonesa (Serie de Villalba) y a la Zona Cantábrica (Formación

Mora). Entre ambas formaciones hace de división el Estefaniense B de Carbonífero con la presencia de ortoconglomerados cuarcíticos, areniscas, lutitas, brechas de pizarra y capas de carbón (Figura 5).

Prácticamente la mayoría de materiales geológicos de la mitad sur pertenecen Paleozoico, con materiales de edad Cámbrico-Ordovícico; Formación Candana, Serie de los Cabos, Caliza de Vegadeo, Serie de Transición, Formación Agüeira y Pizarras de Luarca, junto con litologías alternantes del Carbonífero. Las primeras formaciones se corresponden con cuarcitas, areniscas y pizarras en las zonas centrales y pizarras grises y negras con intercalaciones de cuarcita y limolitas en el extremo sur. Respecto a las franjas del Carbonífero afloran lutitas, areniscas, ortoconglomerados cuarcíticos y capas de carbón.

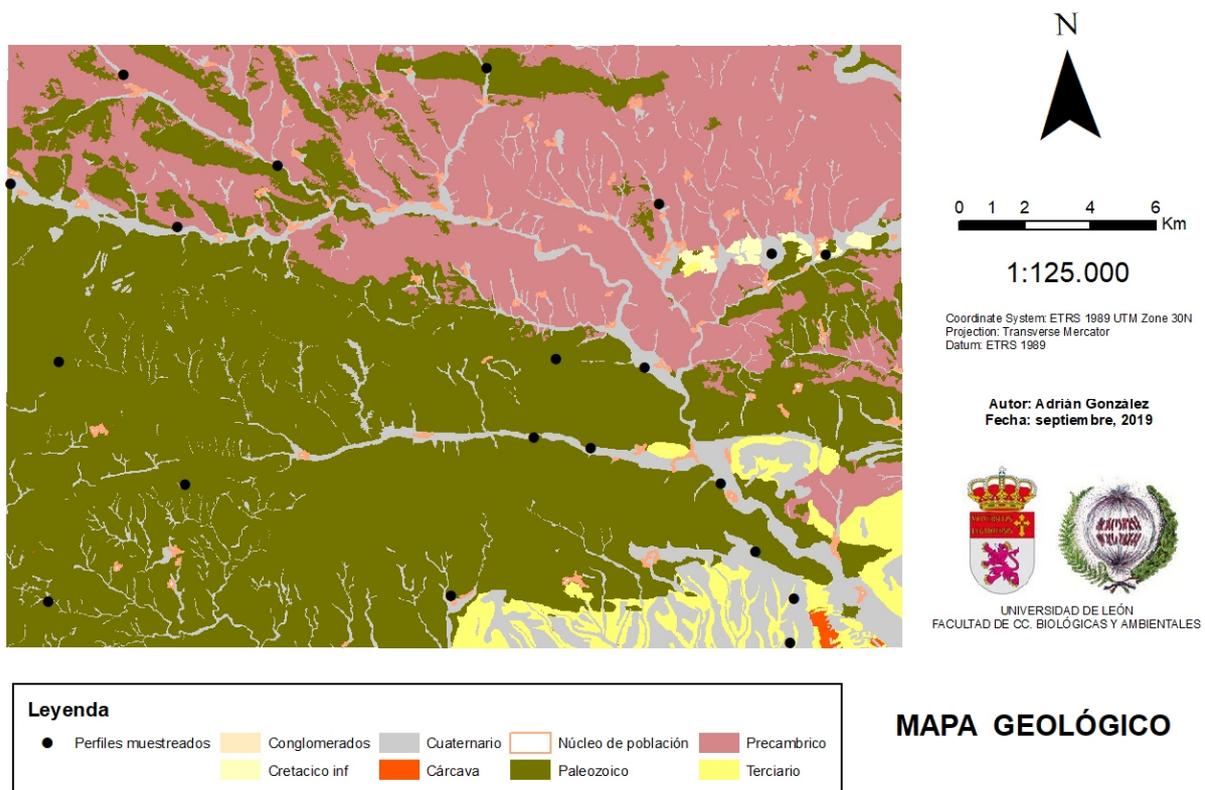


Figura 5.- Mapa geológico. Fuente: Instituto Geológico y Minero de España (1994).

En el extremo sureste del mapa aparecen litologías del Cenozoico, concretamente de los periodos Mioceno y Plioceno, siendo representativo la presencia de cantos cuarcíticos y calizas en una matriz arenoso-arcillosa (Rañas) del Plioceno y arcillas y limos, areniscas, microconglomerados, con areniscas y margas del Mioceno. Las litologías más recientes cuaternarias son gravas y cantos en una matriz arenosa-limosa (Terrazas) junto con arcillas y limos de inundación sobre conglomerados y gravas fluviales (Fondos de valles y llanuras fluviales).

### 3.4 Edafología

La hoja está caracterizada por la presencia de las unidades de Umbrisol léptico y Cambisol /Regosol dístico en la zona norte de vertientes, los suelos de esta última unidad ocuparán la franja central de la hoja y en una zona intermedia aparecen Leptosoles úmbricos/Regosoles lépticos, que también poseen una gran extensión en la parte suroccidental. Por otro lado, la parte suroriental está ocupada por rañas y terrazas donde predominan suelos de tipo Lixisol crómico y Umbrisol húmico/ Regosol dístico. Algunos ejemplos de la edafodiversidad de la zona se pueden visualizar de forma detallada en la Figura 6 y las principales unidades de suelos según Alonso *et al.* (2010) se recogen en la Figura 7.



Figura 6.- Ejemplo de la diversidad de perfiles en la zona, siendo más frecuentes aquellos que presentan menor evolución, como el caso de B. a) Leptosol úmbrico-húmico (Humic Lithic Dystroxept). b) Lixisol crómico (Ultic Palexeralf). c) Regosol hiperdístico (Humic Dystroxept). Fuente: Alonso *et al.* (2010).

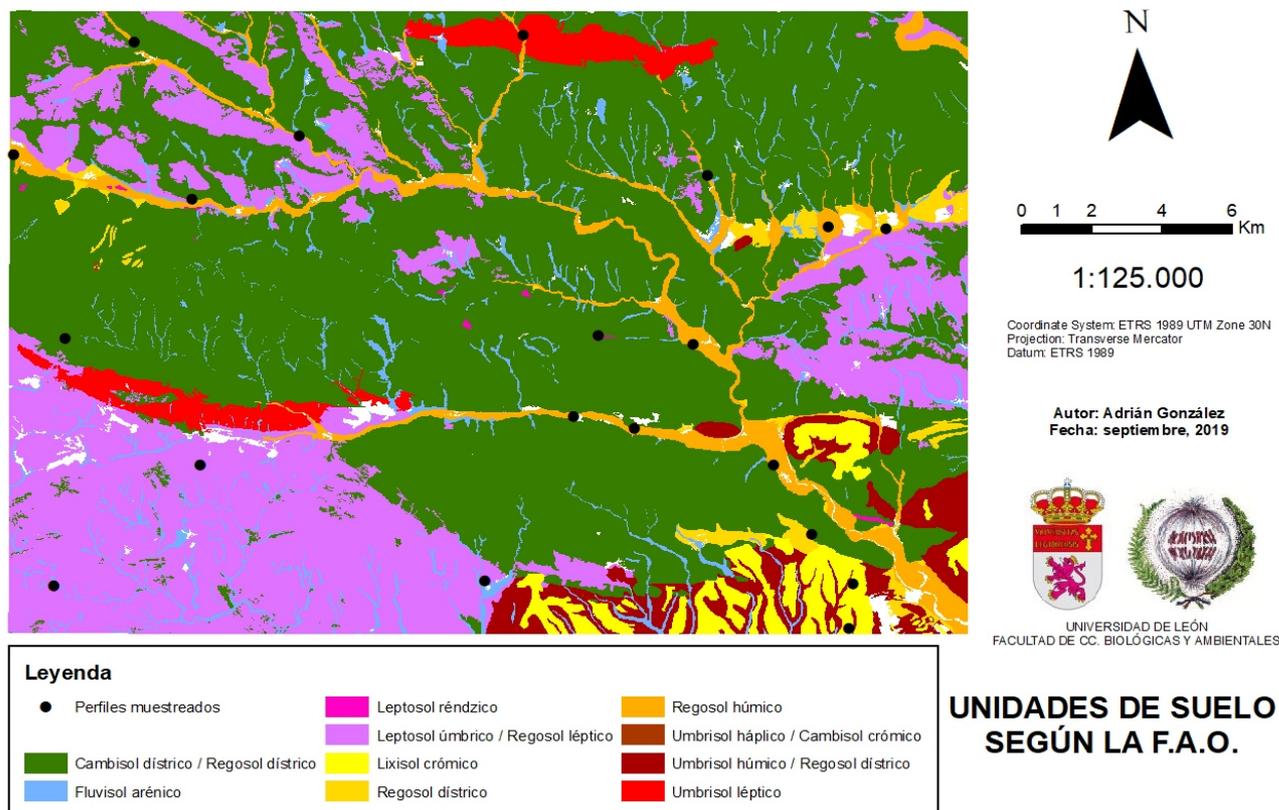


Figura 7.- Mapa de las unidades de suelo. Fuente: elaboración propia a partir de Alonso *et al.* (2010).

### 3.5 Vegetación y usos del suelo

Las unidades fisiográficas de vegetación que ocupan el territorio son masas arboladas con distinta cobertura distribuidas a lo largo de 26.051 ha y pasto y matorral en 23.176 ha según SIOSE (Instituto Geográfico Nacional, 2011) y el Mapa Forestal Español a escala 1:50.000 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2006). Por el contrario, el terreno dedicado al cultivo es notablemente inferior suponiendo tan sólo 5.305 ha (Figura 8).

La vegetación de matorral está representada por *Ulex europaeus* y brezales (*Erica* sp.). La vegetación arbórea está formada principalmente por *Quercus pyrenaica* domina en toda la hoja, seguida en importancia por *Pinus sylvestris* cuyo núcleo más importante se encuentra en los rodales centrales apareciendo de forma mucho más reducida en el norte y sur de la misma. Con mucha menos importancia en superficie y relegados en la zona sur encontramos masas de *Pinus nigra* y *Pinus pinaster*.

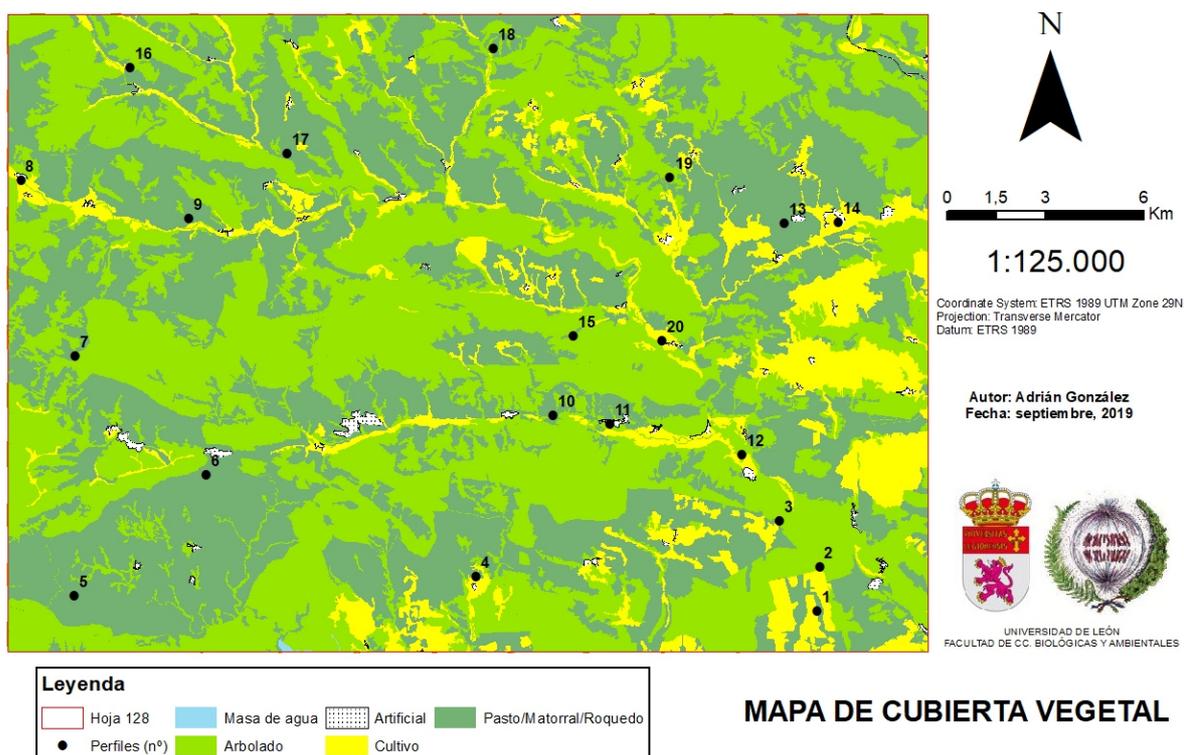


Figura 8.- Mapa de la cubierta vegetal. Fuente: elaboración propia a partir de Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2006.

## 4. MATERIAL Y MÉTODOS

### 4.1. Material

La aplicación del método Riquier requiere conocer propiedades físicas y químicas del suelo, las cuales se han obtenido de la base de datos de descripción de perfiles de suelos de la memoria de la hoja MTN n°128 del Plan piloto del mapa de suelos de la provincia de León (Alonso *et al.*, 2010).

Así mismo, es necesario conocer datos climáticos que permitan establecer los regímenes de humedad y temperatura de la zona estudiada, para lo cual se acude a los datos termopluviométricos de las estaciones de Murias de Paredes, San Martín de la Falamosa y Villameca (véase ANEXO I) seleccionados para los puntos de muestreo de los perfiles.

Además, durante el establecimiento de los diferentes factores que determinan las características de cada perfil, con el fin de evaluar aspectos relacionados con el material parental se ha acudido a la información facilitada por el Instituto Geológico y Minero de España (1994) de la Hoja n° 128 (Riello). En el tratamiento de este material y de las bases de datos se ha utilizado el software ArcGIS 10.5.1 como Sistema de Información Geográfica (SIG).

## 4.2. Método

Se basa en la aplicación general de un índice de potencialidad basado en el método paramétrico del sistema Riquier, Bramaio y Cornet adaptado por FAO (1970), con la incorporación a la metodología criterios que reducen la subjetividad en la toma de decisiones cuando no existen datos o mediciones en la evaluación de alguno de los parámetros. En concreto, en este trabajo se aporta una propuesta de incorporación de un método semicuantitativo para determinar el factor de reserva mineralógica M. De esta forma se espera optimizar la aplicabilidad del método.

### 4.2.1. Evaluación

El proceso de evaluación *stricto sensu* se efectúa para cada uno de los veinte perfiles de la base de datos. Se aplica la metodología de evaluación, en primer lugar, asignando valores a cada parámetro para posteriormente obtener un índice final denominado EG (Evaluación global) para cada perfil, clasificándose en clases de productividad potencial (Tabla 2).

Tabla 2.- Clases de productividad en función del valor de la EG (evaluación global). Fuente: Riquier *et al.* (1970)

Clases	Valor
Excelente	65-100
Buena	35-64
Media	20-34
Pobre	8-19
Extremadamente pobre a improductiva	0-7

La obtención de la EG viene definida por la ecuación siguiente:

$$EG = H \cdot D \cdot P \cdot T \cdot N \cdot S \cdot O \cdot A \cdot M \quad ec. 1$$

Donde EG representa el índice de productividad, H es el régimen de humedad que aporta información sobre la humedad del suelo, D representa el drenaje en relación con la posición relativa que ocupa la capa freática en el suelo, P es la profundidad aprovechable por la vegetación para poder desarrollar el sistema radicular, T es la textura y estructura en la zona de desarrollo radicular, N hace alusión a la saturación en bases del complejo de cambio (horizonte A), S es la concentración de sales solubles en la zona radicular, O es el contenido en materia orgánica (horizonte A), A es la capacidad de cambio catiónico de las arcillas (horizonte B) y M es la reserva de minerales.

El conjunto de estos nueve parámetros puede clasificarse en tres grupos, cuyo producto permite obtener una evaluación global (índice de productividad):

- **H** → Humedad: parámetro independiente a todos los demás, posee una importancia reseñable relacionada con los cambios físico-químicos en el suelo.

- **Factores físicos (FF)**→ engloba los parámetros físicos que definen el suelo y se calcula como producto de ellos ( $FF = D \cdot P \cdot T$ )
- **Factores químicos (FQ)**→ engloba los parámetros químicos del suelo y se calcula como producto de ellos ( $FQ = N \cdot S \cdot O \cdot A \cdot M$ )

Por lo tanto, la evaluación global (índice de potencialidad) es directamente proporcional al valor de los parámetros físicos, químicos y al régimen de humedad:

$$EG = H \cdot FF \cdot FQ \quad ec. 2$$

#### a) Cálculo de H

Este parámetro variará su valor en función del número de meses que el suelo permanezca seco adquiriendo el valor menos restrictivo aquellos suelos con menos a tres meses de sequía al año y el valor más restrictivo aquellos con sequía durante más de once meses. Por lo tanto, se recurre a los climogramas (ver ANEXO I) para analizar los datos termopluviométricos considerando los meses donde existe un déficit (período de sequía) y en los que la temperatura media es inferior a 6°C (riesgo de heladas) criterio adoptado por Dorronsoro Díaz *et al.* (2010) de la siguiente forma (Tabla 3):

Tabla 3.- Grupos para cada perfil en función del régimen de humedad

Perfiles	Estación	Grupo
I, II, III, IV, V, VI, VII	Villameca	H3b
VIII, IX, XVI, XVII, XVIII, XIX	Murias de Paredes	H4a
X, XI, XII, XIII, XIV, XV, XX	San Martín de la Falamosa	H3c

#### b) Cálculo de los factores físicos (FF)

##### *Drenaje*

Se establece el tipo de drenaje para calcular el **parámetro D**, en base a la observación de la profundidad del horizonte hidromórfico, nivel freático e inundación. En el caso del aprovechamiento de cultivos ha de relacionarse también con el parámetro H (Tabla 4):

Tabla 4.- Grupos para cada perfil en función del drenaje.

Perfiles	Grupo
IX	D1
III, XII, XV, XVI	D2
I, II, VI, X, XI, XIII, XIV, XVII, XVIII, XIX, XX	D3
IV, V, VII, VIII	D4

##### *Permeabilidad*

El **parámetro P** se obtiene con la profundidad que alcanzan las raíces en el suelo, lo que se entiende como profundidad aprovechable o efectiva (Tabla 5):

Tabla 5.- Grupos de cada perfil en función de la profundidad/estructura.

Perfiles	Grupo
IV, VI, VIII, XV,	P2
I, II, VII, IX, XI, XIII, XIV, XVI, XIX, XX	P3
V, XVII, XVIII	P4
III, XII	P5
X	P6

### Textura

El último parámetro físico calculado es la textura/estructura (**parámetro T**), se estudia la zona de desarrollo radicular por medio de un triángulo de texturas en función del porcentaje de arena, limo y arcilla obtenemos una clase textual comprendida en un rango de siete categorías (Figura 9), siendo los suelos de textura franca los que menos penalización aportan a la ecuación.

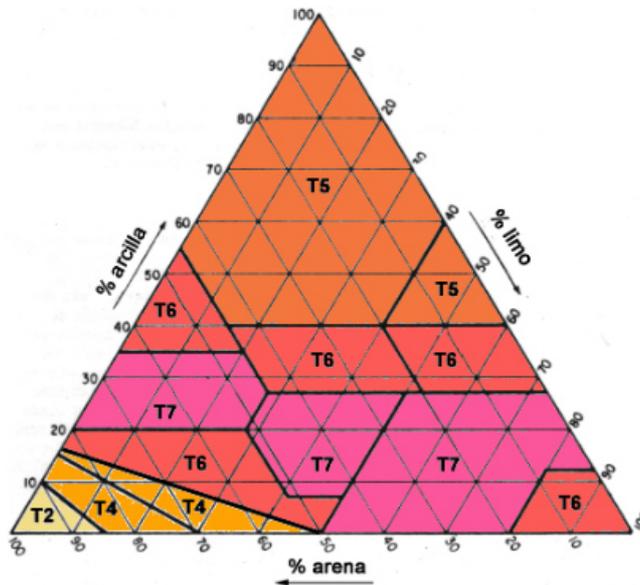


Figura 9.- Triángulo de texturas utilizado para la valoración del parámetro textural/estructural. Fuente: Dorrnsoro (sin fecha).

La ecuación se aplica para los tres tipos de textura, y se define en función de la profundidad del sistema radical:

- Caso I → > 69 cm profundidad

$$T = \frac{(T_9 \cdot 1,5) + (T_{39} \cdot 1) + (T_{69} \cdot 0,5)}{3} \quad \text{ec. 3}$$

- Caso II → 39-69 cm de profundidad

$$T = \frac{(T_9 \cdot 1,25) + (T_{39} \cdot 0,75)}{2} \quad \text{ec. 4}$$

- Caso III → < 9 cm de profundidad

$$T = T_9 \quad \text{ec. 5}$$

donde los subíndices 9, 39, 69 indican la profundidad a la que se toman los valores de T en cada caso.

## ***Estructura***

En cuanto a la estructura, el método de Riquier no establece unos valores de referencia, sino que lo relaciona con el Índice de Henin de estabilidad estructural (Henin *et al.*, 1958). En este trabajo se ha optado por estimar la estabilidad estructural en base al reconocimiento de aquellos elementos edáficos que favorecen o no la estabilidad, proponiéndose un método de evaluación basado en que el grado de estabilidad de los agregados de un suelo se define principalmente por dos factores: la permeabilidad y la porosidad.

Por lo tanto, el factor permeabilidad (drenaje del suelo) se considerará a efectos determinante, siendo un suelo estable cuando posea un buen drenaje, al igual que en el caso de existencia de carbonatos. Por otro lado, el contenido de materia orgánica se considerará positivamente, dado que favorece la formación de agregados en el suelo. Para esta comparación se interpreta que más de un 2% de MO ya es favorable. La porosidad debe tener en cuenta el parámetro textura y se considera excluyente para catalogar un suelo como inestable cuando tenga un porcentaje de limo tal que su clasificación sea franco-limosa (Porta Casanellas *et al.*, 2003). Como elemento adicional a tener en cuenta serían condiciones de actividad biológica que dan lugar a agregados estables tipo granular (Porta Casanellas *et al.*, 2003) y la presencia de lombrices ya que favorecen el proceso de mezclado MO-minerales y la agregación (cementación húmica).

### **c) Cálculo de los factores químicos (FQ)**

Riquier *et al.* (1970) indican que ha de elegirse entre utilizar el parámetro N o S en la fórmula, no ambos a la vez. Es decir, en caso de presencia de sales en el suelo de estudio se aplicaría un estudio del parámetro S mientras que en caso de no aparecer se recurriría a N como en este.

### ***Saturación de bases en el complejo***

Por un lado, el **parámetro N** se evaluó tomando los valores de saturación de bases del horizonte A. Por otro lado, el **parámetro S** se evaluó para el conjunto de los perfiles siguiendo la metodología propuesta con ponderación en función de la profundidad y la extensión radical.

- Caso I → > 69 cm profundidad

$$S = \frac{(S_9 \cdot 1,5) + (S_{39} \cdot 1) + (S_{69} \cdot 0,5)}{3} \quad \text{ec. 6}$$

- Caso II → 39-69 cm de profundidad

$$S = \frac{(S_9 \cdot 1,25) + (S_{39} \cdot 0,75)}{2} \quad \text{ec. 7}$$

- Caso III → < 9 cm de profundidad \*

$$S = S_9 \quad \text{ec. 8}$$

donde los subíndices 9, 39, 69 indican la profundidad a la que se toman los valores de S en cada caso.

\* En el caso del perfil IX se toma como profundidad de medición los 7 cm en vez de los 9 cm, aunque a efectos prácticos no supone una variación notable, pudiéndose alcanzar debido a esta tendencia profundidades de 9 cm.

### ***Materia orgánica***

El **parámetro O** se obtiene únicamente del horizonte A. Ante los intervalos de clasificación cerrados se opta por truncar los valores que se encuentren entre dos intervalos, así cuando se tenga un valor mayor de dos pero menor a tres se incluirá dentro del grupo de evaluación de dos. Con esto se busca una evaluación conservadora, es decir, más restrictiva.

### ***Capacidad de intercambio catiónico***

El **parámetro A** se calcula en el horizonte subsuperficial, llevándose a cabo una media ponderada en función de la profundidad en caso de existir más de un horizonte de este tipo. Para ello ha de conocerse la capacidad de cambio catiónico de la arcilla, el porcentaje de la misma, la materia orgánica presente y un factor que es inherente al tipo de zona climática. La ecuación utilizada se define de la siguiente forma:

$$CCC_{arcilla} = \frac{CCC_{suelo} - k \cdot MO}{arcilla (\%)} \cdot 100 \quad ec. 9$$

donde  $CCC_{suelo}$  es la capacidad de cambio catiónico del suelo,  $MO$  es la cantidad de materia orgánica y  $k$  es el factor que varía según la zona climática, siendo utilizado para la zona de estudio el correspondiente a las zonas templadas  $k = 2$ .

### ***Reserva mineralógica***

Por último, el **parámetro M** se caracteriza en función de la abundancia o escasez de reservas minerales de un suelo, así como de su origen (en el caso de los perfiles estudiados se consideran tres orígenes: de rocas ácidas, básicas o arenas fluviales). Está relacionada con la fertilidad natural de los suelos.

Este parámetro se considera poco determinante en el índice de productividad final que se obtiene, ya que el rango de variación entre las distintas clasificaciones oscila entre 85 y 100. Para mejorar una de las limitaciones detectadas como es la subjetividad en la valoración de M se propone un método semicuantitativo de cálculo que, aun estando basado en la interpretación permite seguir un criterio común. A continuación, se describe la propuesta de este trabajo para determinar el factor M (reservas mineralógicas).

#### **d) Propuesta de un método semicuantitativo para determinar M**

El método se basa en tomar como elementos relevantes para conocer el reservorio mineral: la mineralogía de las arcillas y arenas, la evolución del suelo, la naturaleza de la roca madre, la

acidez pH y la presencia de carbonatos. Se pondera cada elemento introduciendo cada término en una ecuación (ec.10), de forma que en aquellos casos en los que el producto es menor a 0,5 se considerará que existen amplias reservas (Tabla 8). Se analizan los datos del análisis mineralógico en los casos, además se hace una búsqueda bibliográfica del material parental en la cartografía litológica. En los casos en los que no existe un horizonte subsuperficial, no se evalúan los datos proporcionados por la roca madre, se considera no productivo en la evaluación agroecológica.

- **Mineralogía de las arcillas y arenas:** permitiría conocer la presencia de minerales fácilmente alterables o inalterables, así como abundancia de cuarzo. En el primero de los casos se considerará que la reserva es amplia. En el segundo caso una gran presencia de cuarzo e inexistencia de otros minerales más alterables será característico de un suelo con bajas reservas minerales. No obstante, la relación cuarzo inalterable-reserva mineral en zonas templadas (Douchafour, 1984; Gisbert e Ibañez, 2002) ha suscitado controversia según señalan varios autores como Schulz y White (1999) o Martín-García *et al.* (2015). En la Tabla 6 se observa el grado de alterabilidad de diferentes minerales.

Tabla 6.- Relación de minerales de las arenas y su posibilidad de aporte de nutrientes al suelo. Fuente: Dorronsoro (sin fecha).

<b>Elemento nutriente</b>	<b>Mineral</b>	<b>Velocidad alteración</b>
<b>K</b>	Feldespato potásico	Baja
<b>K</b>	Moscovita	Baja
<b>K</b>	Biotita	Media
<b>Ca/Mg</b>	Plagioclasas	Media/alta
<b>Ca/Mg</b>	Anfíboles	Alta
<b>Ca/Mg</b>	Piroxenos	Muy alta
<b>Ca/Mg</b>	Serpentinas	Media
<b>Ca/Mg</b>	Cloritas	Baja
<b>Ca/Mg</b>	Carbonatos	Muy baja
<b>P</b>	Apatito	Muy alta
<b>Fe</b>	Óxidos e hidróxidos	Variable
<b>Mn</b>	Óxidos e hidróxidos	variable

- **Evolución:** se opta por asignar a este factor el máximo valor numérico con un valor de 6 (Tabla 7). Esta asignación para los suelos jóvenes (Fluvisoles, Regosoles y Leptosoles), formados por minerales primarios poco alterados, ponderan con un valor 0 sobre el máximo valor de este factor. Los minerales permanecen en su mayoría inalterados en su estructura. En cuanto a los suelos en etapa inicial e intermedia de formación (Umbrisoles y Cambisoles en el caso de este trabajo), ponderan con un valor menor al caso anterior, obteniendo un valor de 0,5.

Aquellos suelos con un gran desarrollo y evolución, donde los minerales han sufrido procesos edafogenéticos más complejos (Lixisoles y Alfisoles), son ponderados con un valor de 1.

- **Tipo de roca:** se opta por asignar a este factor un valor numérico de 3, ya que aporta menos peso que el estado de evolución del suelo. Se fundamenta en la diferenciación simplificada entre rocas ácidas o básicas (Tabla 7). La interpretación de este factor se basa en la comprensión de reservorio mineral como elemento susceptible de ser aprovechado y productividad agroecológica. Las rocas ácidas reciben un valor de ponderación de 1 mientras que las básicas ponderan con un valor 0.

- **Acidez pH:** se opta por asignar a este factor un valor numérico de 1. A valores de pH ácidos los minerales inestables se descompondrán fácilmente, mientras que en neutros o medianamente básicos este proceso se verá ralentizado y habrá más reserva. Según lo expuesto aquellos pH ácidos (pH menor a 6) obtienen un valor de ponderación de 1, intermedios (pH entre 6 y 7,3) obtienen un valor de ponderación de 0,5 y aquellos cuyo pH sea considerado ácido (pH mayor a 7,3) obtienen un valor 0 (Tabla 7).

- **Carbonatos:** se trata de un factor independiente, de forma que un suelo con presencia de carbonato automáticamente se clasificará como rico en reservas. La presencia de carbonatos multiplica a toda la ecuación con el valor 0, por otro lado, en caso de no existir el valor otorgado es 1.

$$Reservas = \frac{C \cdot (a \cdot Ev + b \cdot R + c \cdot pH)}{C + Ev + R + pH} \quad ec. 10$$

Las ponderaciones asignadas a cada factor se reflejan en la Tabla 7. Los valores oscilarán entre 0 y 1 donde se considerará que existen pocas reservas si la ecuación 1 obtiene valores menores a 0,5 y escasas cuando se sobrepasa ese valor (Tabla 7).

El criterio seguido para conocer el grupo M se recoge en la Tabla 8. El origen de los minerales viene determinado por el código "a" se utiliza en minerales de arenas fluviales o materiales ferruginosos, "b" minerales de rocas ácidas y "c" minerales de rocas básicas según la equivalencia con el método de Riquier.

Tabla 7.- Ponderaciones de cada factor para la determinación del parámetro M. Las flechas hacia arriba indican un valor alto, hacia abajo un valor bajo y cuando se presentan las dos se indica valor intermedio.

	Valor	Ponderación	
<b>Evolución</b>	6	Alta	1
		Media	0,5
		Baja	0
<b>Tipo de roca</b>	3	Ácida	1
		Básica	0
<b>pH</b>	1	Alto	0
		Medio	0,5
		Bajo	1
<b>Carbonato</b>	0-1	Si	0
		No	1

Tabla 8.- Grupo al que pertenece el factor M en función del tipo de roca.

Criterio		
<b>Reservas amplias</b>	<0,5	M3
<b>Reservas escasas</b>	≥ 0,5	M2
<b>Minerales de arenas fluviales</b>		a
<b>Minerales de rocas ácidas</b>		b
<b>Minerales de rocas básicas</b>		c

## 4.2.2. Análisis de datos

### 4.2.2.1. Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico se ha llevado a cabo con el programa IBM SPSS Statistics 20.0 para realizar el Análisis multivariante, por un lado, el análisis de conglomerados jerárquicos Cluster para analizar las agrupaciones entre factores y parámetros y su correspondencia pudiendo explicar qué procesos edáficos definen los grupos; y por otro, el Análisis factorial para determinar qué factores y parámetros explican la varianza y, por lo tanto, son los que más contribuyen a la evaluación. Al tratarse de un método paramétrico estará fuertemente condicionado por los valores más restrictivos.

Se utilizaron también herramientas de estadística descriptiva y análisis de regresión lineal para establecer correlación entre los parámetros y factores estudiados.

### 4.2.2.2. Interpolaciones

Los mapas continuos generados en la interpolación se construyeron a partir de la base a datos generada con los veinte perfiles evaluados. De esta forma cada punto tiene asociado un valor

para los FF, FQ y EG en cada uno de los posibles aprovechamientos agronómicos (pascicultura, cultivo o forestal). Los métodos de interpolación utilizados fueron el IDW (Inverso de la Distancia Ponderada) y el IS (inverso de la distancia elevado al cuadrado) como sugieren Gotway *et al.* (1998), Henríquez *et al.* (2005), Rodríguez Pérez *et al.* (2008) o Villatoro *et al.* (2008), entre otros muchos, para estudios de variables edáficas y se generaron salidas con el software SigmaPlot V.11 y ArcGIS 10.5.1.

## 5. RESULTADOS

Tras llevar a cabo el proceso de evaluación de la base de datos de perfiles se obtienen una serie de valores finales (ANEXO II) que determinan la capacidad de cada suelo (evaluación global; en adelante EG). En las Tablas 9, 10, 11 y 12 pueden observarse los estadísticos descriptivos. Se muestran los derivados de cada uno de los factores de forma individual, de los factores físicos (FF) y químicos (FQ) conjuntamente y de los valores que obtiene la evaluación global (EG) incluyendo esta ambos factores FF y FQ.

Tabla 9.- Estadísticos descriptivos para todos los perfiles considerando **los tres aprovechamientos**.

	<b>N</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación típica</b>
<b>FF</b>	60	0,00	1,00	0,35	0,28
<b>FQ</b>	60	0,31	0,90	0,58	0,16
<b>EG (%)</b>	60	0,08	36,94	10,87	9,27

Desglosando los resultados según cada tipo de aprovechamiento se obtiene los resultados de las tablas 10, 11 y 12. Los parámetros estudiados otorgan a la praticanura los mayores valores medios, situándose más próximos a 1; valor máximo potencial de cada factor (Véase ANEXO II). Las diferencias en las valoraciones medias y desviación típica obtenidas para cada aprovechamiento son notables en los parámetros que definen los factores físicos FF. Entre los parámetros de los factores químicos FQ existe una variación de las medias mucho menor, siendo entre los cultivos y aprovechamiento forestal mayor, con un rango de diferencia de 0,26 frente al máximo rango de 0,46 para los factores físicos. Por lo tanto, la diferencia en las valoraciones globales se debe a los factores físicos en cada tipo de aprovechamiento. Atendiendo al parámetro humedad H y a los factores químicos las variaciones son mínimas.

Tabla 10.- Estadísticos descriptivos para todos los parámetros considerando como **aprovechamiento cultivo**.

	<b>N</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación típica</b>
<b>H</b>	20	0,60	0,80	0,70	0,08
<b>D</b>	20	0,10	1,00	0,83	0,21
<b>P</b>	20	0,20	1,00	0,56	0,26
<b>T</b>	20	0,30	1,00	0,80	0,23
<b>FF</b>	20	0,05	0,90	0,37	0,25
<b>N</b>	20	0,40	1,00	0,53	0,15
<b>S</b>	20	1,00	1,00	1,00	0,00
<b>O</b>	20	0,80	1,00	0,98	0,06
<b>A</b>	20	0,85	1,00	0,92	0,06
<b>M</b>	20	0,85	1,00	0,94	0,05
<b>FQ</b>	20	0,31	0,80	0,44	0,14
<b>EG (%)</b>	20	1,22	32,32	10,76	7,50

Tabla 11.- Estadísticos descriptivos para todos los parámetros considerando como **aprovechamiento pasto**.

	<b>N</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación típica</b>
<b>H</b>	20	0,40	0,70	0,56	0,13
<b>D</b>	20	0,60	1,00	0,89	0,09
<b>P</b>	20	0,60	1,00	0,81	0,13
<b>T</b>	20	0,30	1,00	0,81	0,21
<b>FF</b>	20	0,22	1,00	0,57	0,20
<b>N</b>	20	0,60	1,00	0,71	0,11
<b>S</b>	20	1,00	1,00	1,00	0,00
<b>O</b>	20	0,80	1,00	0,98	0,06
<b>A</b>	20	0,85	1,00	0,92	0,06
<b>M</b>	20	0,85	1,00	0,94	0,05
<b>FQ</b>	20	0,46	0,81	0,59	0,11
<b>EG (%)</b>	20	9,42	36,94	18,74	8,16

El índice medio de evaluación global es de  $EG=0,110$ , siendo la contribución media de los FF de 0,579 y de los FQ de 0,354 (Figura 10), limitando siempre los factores físicos, con valores más restrictivos para los tres usos (pasto, cultivo y forestal), especialmente en el uso forestal

(0,113), seguido de cultivos (0,373) y finalmente pastos (0,574). Sin embargo, parece que los factores químicos alcanzan valores medios para el uso forestal de 0,704 para los pastos de 0,595 y para cultivos de 0,440 (Figura 11). Según la estimación global final los aprovechamientos más favorables son los de practicultura (18,74%), siendo por el contrario los forestales (3,10%) los menos adecuados e intermedio para los cultivos (10,76%) (Tablas 10, 11 y 12).

Tabla 12.-Estadísticos descriptivos para todos los parámetros considerando como **aprovechamiento forestal**.

	<b>N</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación típica</b>
<b>H</b>	20	0,20	0,70	0,42	0,21
<b>D</b>	20	0,05	1,00	0,44	0,32
<b>P</b>	20	0,05	1,00	0,33	0,29
<b>T</b>	20	0,30	1,00	0,81	0,21
<b>FF</b>	20	0,00	0,60	0,11	0,15
<b>N</b>	20	0,80	1,00	0,84	0,07
<b>S</b>	20	1,00	1,00	1,00	0,00
<b>O</b>	20	0,80	1,00	0,98	0,06
<b>A</b>	20	0,85	1,00	0,92	0,06
<b>M</b>	20	0,85	1,00	0,94	0,05
<b>FQ</b>	20	0,55	0,90	0,70	0,09
<b>EG (%)</b>	20	0,08	12,31	3,10	4,08

De los tres aprovechamientos la practicultura es el que los FF y FQ favorecen una mayor EG. Por otro lado, en el caso de los cultivos en ambos factores se obtiene una valoración EG menor. En el caso del aprovechamiento forestal la valoración de los FQ indica unas buenas condiciones, pero está fuertemente penalizado por los FF, dando lugar a la EG más baja.

El análisis de componentes principales de variables para los 7 parámetros y los factores FF, FQ y EG se muestra en la Figura 12. Los diagramas factoriales de saturación respecto a la componente 1 y la componente 2 con los 7 parámetros edáficos (PC1=66,04 y PC2=30,77) explican un total de la varianza del 96,82%, siendo los FF (P y D) los que tienen un mayor peso respecto a la componente 1. Los FF explican un 80,94%, siendo P (0,825) el que más contribuyen a la saturación de la componente de evaluación total. Los FQ y concretamente N (0,932) saturan la componente 1, explican un 72,42% (Figura 12)

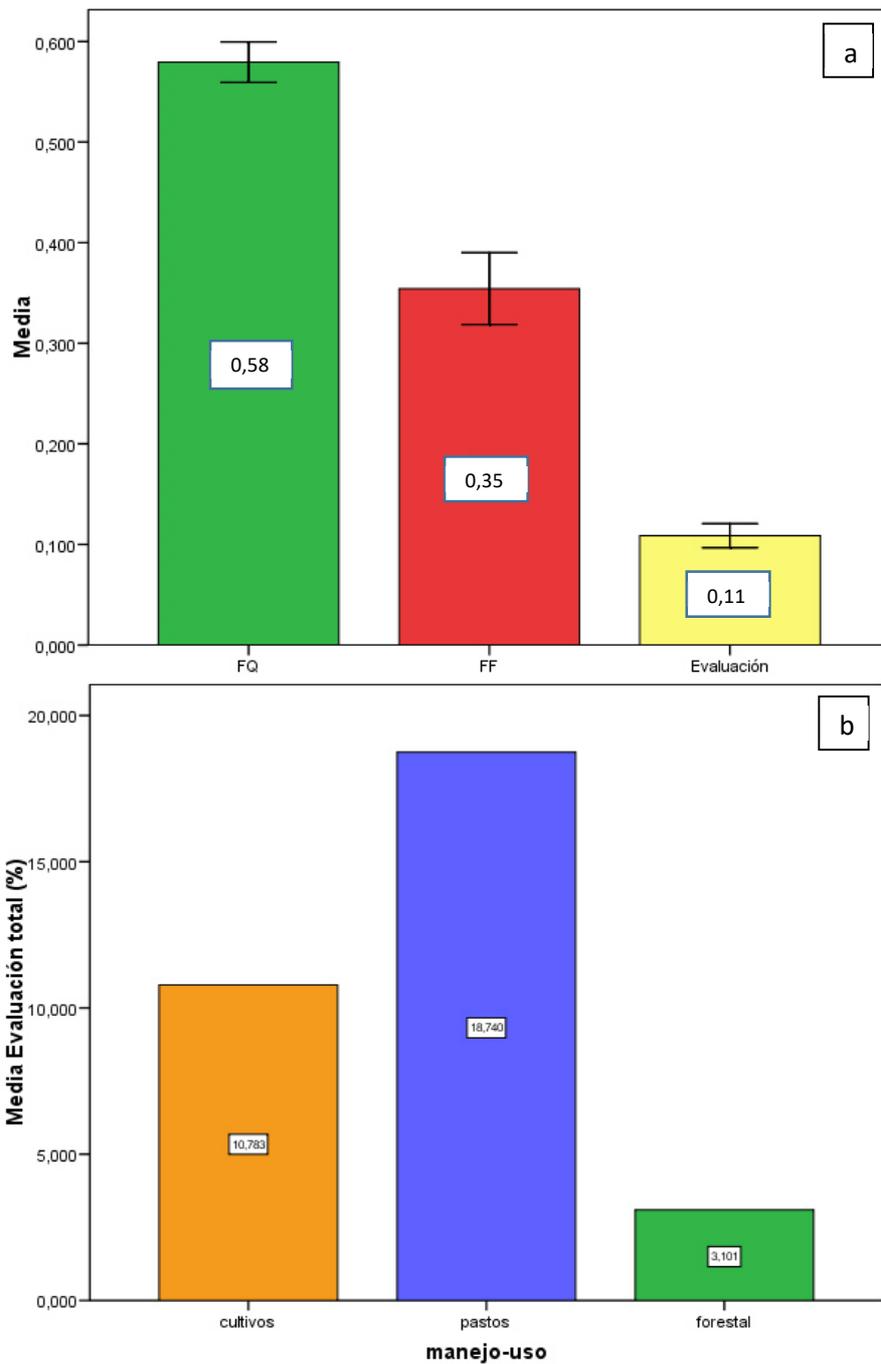


Figura 10.- a) Valores medios que toman FQ, FF y EG tomando valores de todos los perfiles y b) Porcentaje de contribución a EG.

Analizando la situación de los FF y FQ respecto a Evaluación (EG) se observa que el máximo valor de saturación respecto a la componente 1 son los FF seguida por la EG. Los FQ presentan una saturación en esta componente en sentido contrario. Esta relación indica que entre los dos grupos de factores (FF y FQ) son los FF los que mayor semejanza muestran respecto a la evaluación de la potencialidad final (EG), por lo que indican mayor importancia en la EG final.

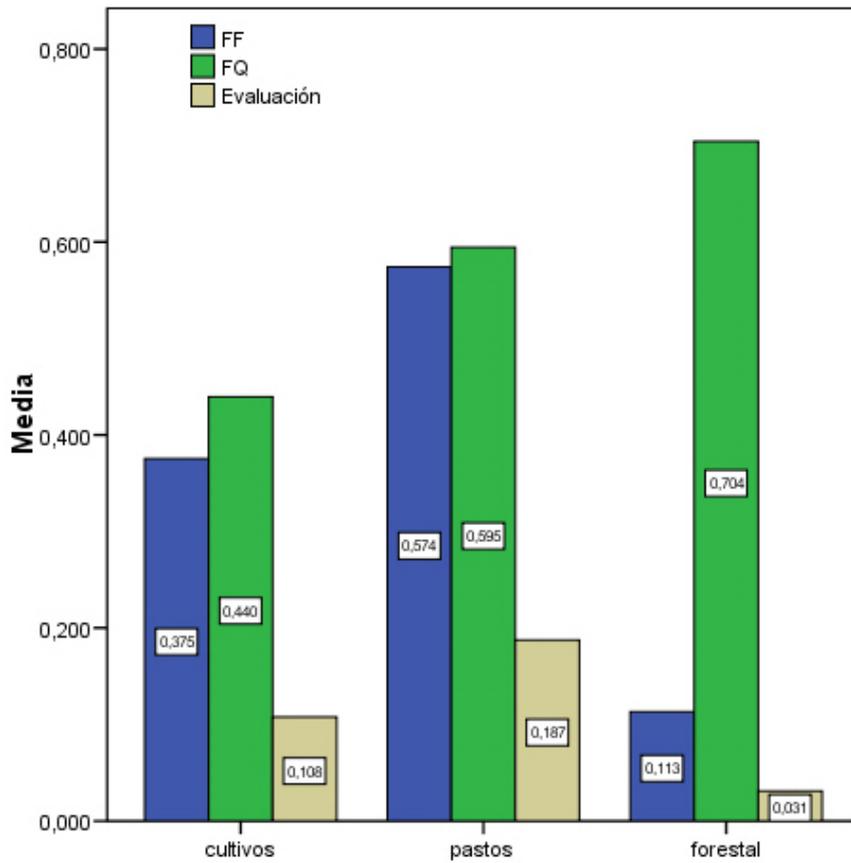


Figura 11.-Valores medios de FF, FQ y EG para cada tipo de aprovechamiento considerando todos los perfiles.

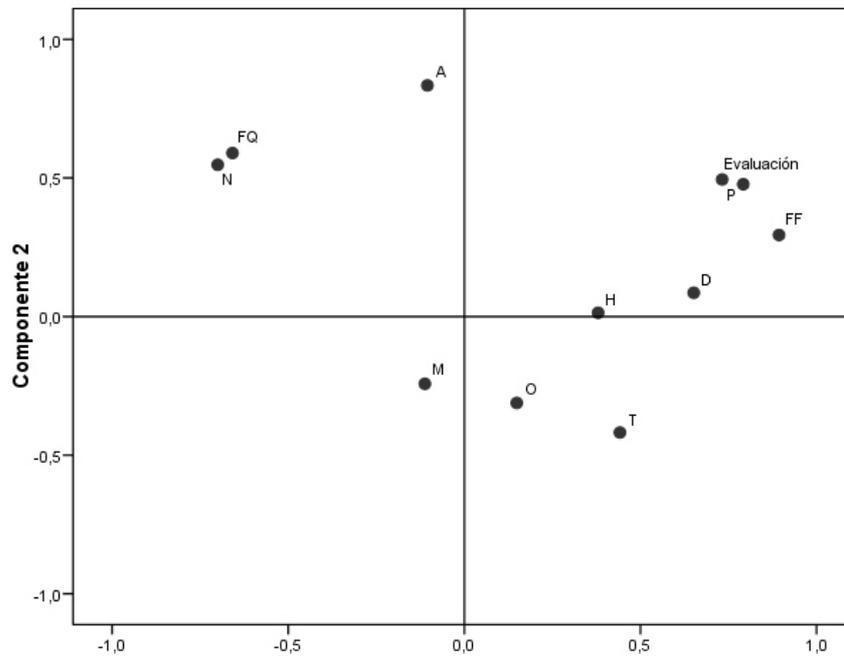


Figura 12.- Análisis de componentes principales para el conjunto factores o parámetros de todos los datos tratados.

Por otro lado, y atendiendo al conjunto de las variables se observa como de todas, la profundidad P está correlacionada con la EG, siendo incluso una variable más representativa

que los FF respecto a la valoración final de productividad. En el caso de los FQ el parámetro N es el que posee más contribuye a los FQ.

El análisis multivariante llevado a cabo por medio de conglomerados jerárquicos manifiesta la diferencia entre los diferentes parámetros y los grupos que forman.

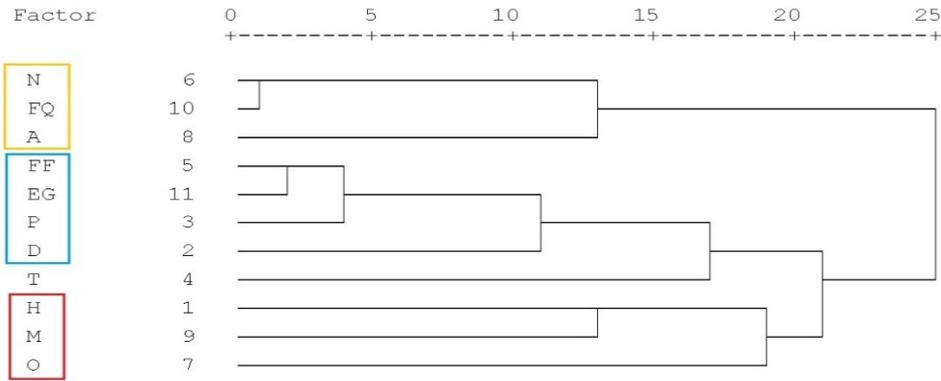


Figura 13.- Análisis de conglomerados jerárquicos con los casos de todos los perfiles.

La Evaluación global (EG) obtenida se ajusta al análisis de conglomerados (Figura 13). Hay 2 grandes grupos clúster de clasificación, el primero correspondiente a FQ junto con A y luego N, mayor dependencia con la saturación de bases y la CIC; y otro segundo grupo con factores físicos FF y EG, al que se unen P y, en otra etapa, D. Este segundo grupo se une con el parámetro textura T, casi independiente, y este junto con minerales, por su íntima relación con la naturaleza de las arcillas (parámetro M) y finalmente, con materia orgánica. Hay un tercer grupo, correspondencia con los procesos edáficos de disponibilidad de nutrientes y la mineralización. En este grupo el parámetro humedad (H), se une junto con reservas minerales

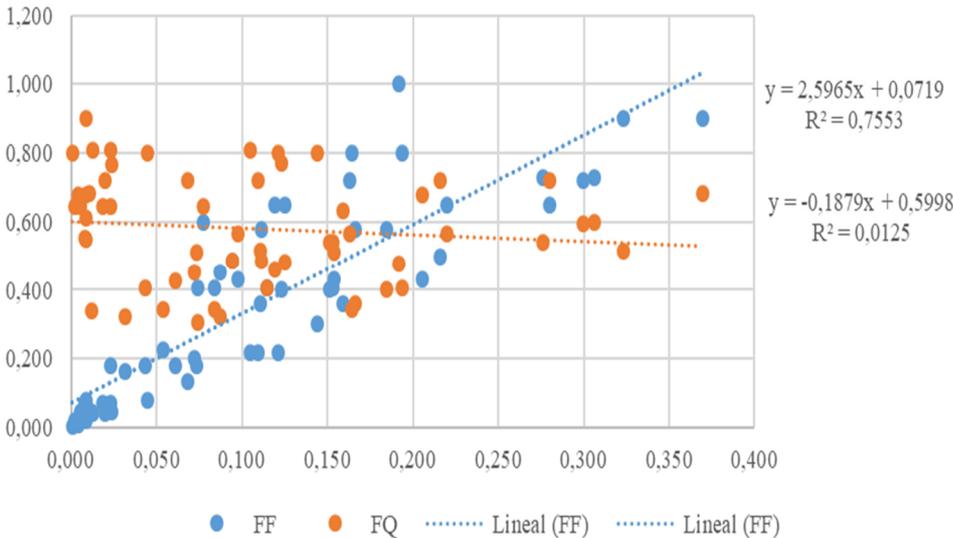


Figura 14.- Análisis de regresión lineal correspondiente a todos los factores físicos y químicos teniendo en cuenta los tres usos.

(M) y contenido en materia orgánica (O). Finalmente, este se une a mayor distancia al bloque de FF+EG y al grupo de FQ. Por tanto, en la mayor parte de casos analizadas pese a presentar óptimas condiciones químicas tales como la reserva mineralógica, materia orgánica o CIC, el peso del factor limitante recae en las variables edáficas físicas de profundidad y drenaje que determinan la evaluación final de la capacidad de uso en esta zona

Como último elemento de análisis en la regresión de los datos (Figura 14), los factores físicos FF y químicos FQ calculados inicialmente para cada tipo de suelo presentan una correlación positiva (FF  $R^2=0.7553$  y FQ  $R^2=0.0125$ ), el ajuste linear es mejor para los FF con relación a la Evaluación Global EG y, por tanto, con la capacidad productiva potencial.

En el análisis espacial de interpolaciones la aplicación generó unos resultados aceptables tras el análisis del error RMSE (Tabla 13). Se observa que a excepción de la interpolación de EG los valores de RMSE son bajos tanto para IS (cuadrado inverso) como para IDW (distancia inversa). No obstante, el cuadrado inverso posee un error debido al ajuste de los residuos, el RMSE aumenta sobretodo en la EG. Con estos análisis se selecciona el IDW al aportar mejores resultados en la representación espacial tomando como referencia el RMSE. La representación espacial muestra los resultados del análisis con el método IDW. La Figura 11 muestra la distribución de la EG para los tres aprovechamientos, el ANEXO III la de los FF y los FQ están representados en el ANEXO IV.

En concreto, en esta primera aproximación la distribución espacial existe un ajuste de la EG en dos grandes núcleos o islas óptimos como se (Figura 15). Están bien definidos en cuanto al uso praticanura, también en el forestal donde el núcleo óptimo está en la zona norte y en los cultivos que están claramente más restringidos a las zona norte y sur del centro de la hoja. Además, existe un amplio rango no idóneo en la zona central que separa a modo de islas en el caso de los 3 usos, posiblemente por un a menor densidad de datos observados.

Tabla 13.- Valores alcanzados por el RMSE para cada tipo de aprovechamiento en función del método de interpolación.

RMSE	Pasto	IS	EG	3,2117
			FF	0,0842
			FQ	0,0287
		IDW	EG	0,0000
			FF	0,0000
			FQ	0,0000
	Cultivo	IS	EG	4,0067
			FF	0,1307
			FQ	0,0270
		IDW	EG	0,0000
			FF	0,0000
			FQ	0,0000
Forestal	IS	EG	4,5881	
		FF	0,0809	
		FQ	0,0320	
	IDW	EG	0,0000	
		FF	0,0000	
		FQ	0,0000	

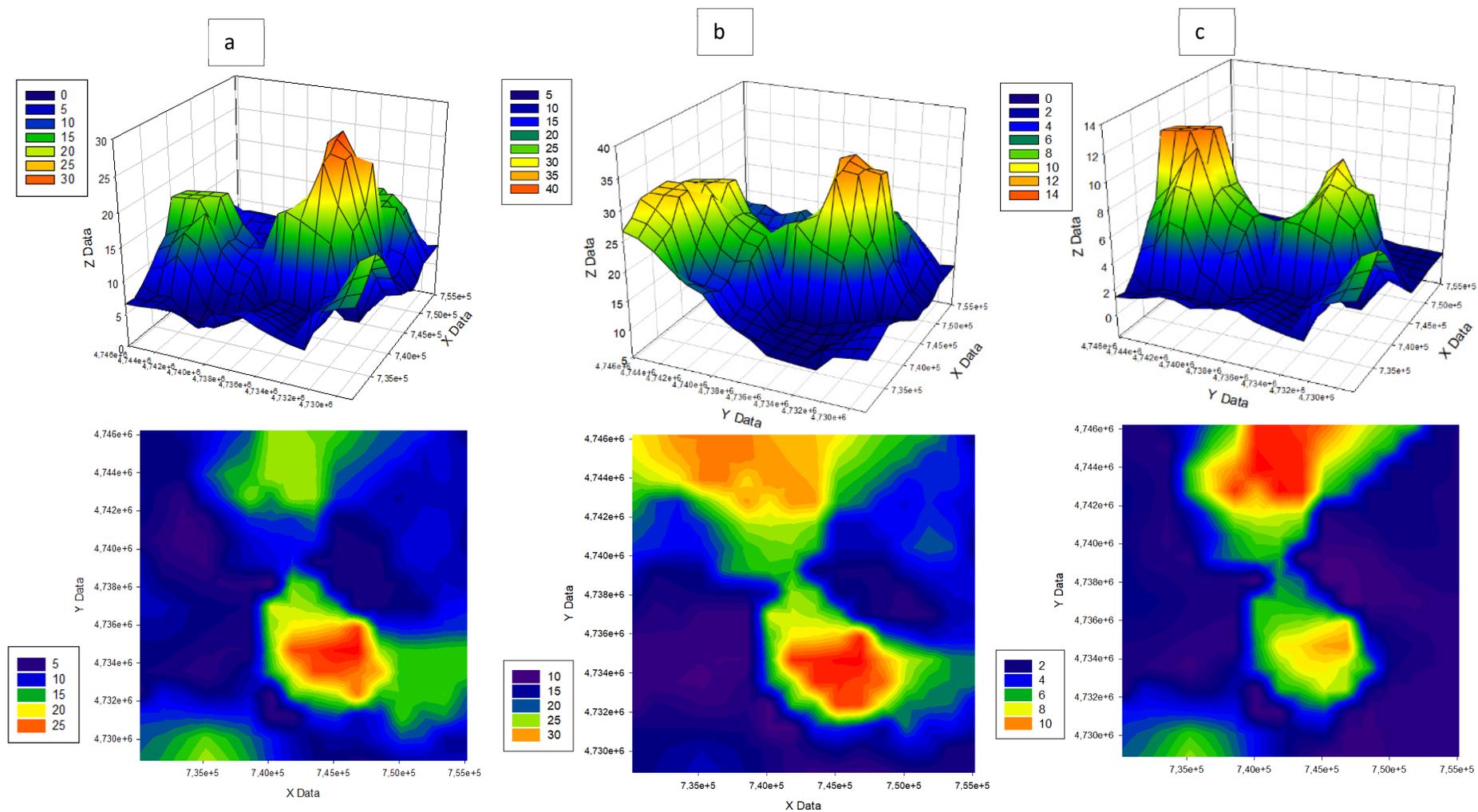


Figura 15.- Evaluación global (EG) para cada aprovechamiento; a) EG cultivos b) EG pasto y c) EG forestal. Ejes X e Y las coordenadas UTM y el eje Z se corresponde con la variable evaluada EG en cada caso. Las clases según Riquier son: *Excelente (65-100)*, *Buena (35-64)*, *Media (20-34)*, *Pobre (8-19)*, *Extremadamente pobre (0-7)*. Véase Tabla 14.

## 6. DISCUSIÓN

La evaluación no indica la existencia suelos con índices productivos de capacidad muy altos, manteniéndose en un rango de productividad entre las clases extremadamente pobre y medio (Clase 0-7 y 8-19) con algún perfil aislado de buena categoría, (Clase 35-64) y además existen notables diferencias en función del tipo de aprovechamiento. Los valores asociados a buena a excelente productividad según la EG son aquellos superiores a 35 (Nivel S1 y S2 de FAO, 1976; según Dorronsoro, 2002), mientras que los más limitantes son los inferiores a ese valor: niveles S2, S3 y N de FAO (1976); según Dorronsoro (2002). Véase Tabla 14.

Tabla 14.- Comparación de los sistemas de evaluación de la capacidad del suelo según el sistema de Riquier, Bramao & Cronnet y el sistema FAO Framework. Fuente: Dorronsoro (2002)

<b>Riquier <i>et al.</i> (1970)</b>	<b>FAO (1976)</b>
Excelente (65-100)	S1
Buena (35-64)	S2
Media (20-34)	
Pobre (8-19)	S3
Extremadamente pobre (0-7)	N

Se observa como el método de interpolación espacial IDW es más flexible y aporta resultados robustos en el análisis de factores edáficos. En otros estudios como el de Henríquez *et al.* (2005) o Blanco-Sepúlveda (2000) el Kriging muestra una buena representación incluso mejorada respecto a IDW. Sin embargo, en este caso la relación pendiente-profundidad y la limitación asociada a la distancia existente entre perfiles (Villatoro *et al.*, 2008) en algunas zonas con baja densidad, hacen que el IDW sea más adecuado. Se pone de manifiesto el buen ajuste del modelo, siempre que se disponga de una superficie de muestreo con observaciones bien distribuidas. El estudio de los parámetros evaluadores en el análisis con la cartografía edáfica a nivel de grupo pone de manifiesto que existe cierta equivalencia con el mapa de suelos. Esto se explica por el uso de parámetros representativos del suelo que actúan como indicadores (Cantú *et al.*, 2007). La variación espacial en el mapeo de los factores obtenidos (Figura 14) representa parcialmente la distribución de las tres grandes unidades del mapa de suelos de la zona (Figura 14, ANEXOS III y IV). Cambisoles, Regosoles y Leptosoles, con medio-bajo desarrollo limitados por el factor profundidad P, presentan unas características físicas que repercuten en una baja capacidad productiva. Por el contrario, los Lixisoles suelos más evolucionados, restringidos a la distribución de la unidad de terrazas y rañas, presentan según la asociación de casos pocas limitaciones, siendo óptimos los valores totales obtenidos para los cultivos.

El análisis multivariante concluye la gran dependencia que existe en la evaluación global, con los factores físicos, en concreto la profundidad que es el factor limitante (Sánchez.Marañón *et al.*, 1996; Año Vidal *et al.*, 1997). Los suelos del área de estudio son poco profundos, siendo los más frecuentes los grupos de Regosoles y Leptosoles obteniéndose un bajo índice. Por tanto, pese a presentar óptimas condiciones químicas tales como la reserva mineralógica, saturación de bases, materia orgánica o CIC, el peso del factor limitante recae en las variables edáficas físicas de profundidad y drenaje que determinan la de la capacidad de uso en esta zona. Aunque las características físicas (FF) y químicas (FQ) pueden presentar alta valoración, la penalización que ejerce el régimen de humedad hace que la capacidad general obtenida sea baja. El análisis de conglomerados jerárquicos indica la mayor relación de la profundidad con la permeabilidad que respecto a la textura, debido a que se propiciaría una rápida saturación. El conglomerado que forma la humedad con la reserva mineralógica y la materia orgánica es indicativo de la alteración por hidrólisis que se está produciendo y la incidencia del humus sobre la alteración de los minerales, además de la relación con la tasa de mineralización (Duchaufour, 1984).

Respecto a la influencia del relieve, Dorronsoro (2002) expone que el método de evaluación seguido muestra anomalías en sus resultados en comparación con otros. Si bien es cierto, la no inclusión de la pendiente en el método se corrige al ser limitantes otros factores, como la profundidad muy relacionada con la pendiente (Dorronsoro, 2002). Cabe destacar que no se considera la pendiente ni algunos factores edáficos relativos a la erosión o los cambios de uso entre los elementos evaluados. El proceso evaluador tiene como objetivo determinar la capacidad de un conjunto de elemento físicos y químicos que definen intrínsecamente el tipo de suelo frente a la capacidad de uso potencial y la productividad (Año Vidal *et al.*, 1997; Dorronsoro, 2002). Ante esta situación debe aplicarse un factor de corrección al índice calculado inicialmente proporcional a la pendiente Riquier *et al.* (1970).

Finalmente se pone de manifiesto el carácter subjetivo que puede conllevar la valoración de cada uno de los parámetros del índice (Dorronsoro, 2002). Se ha propuesto en este trabajo un complemento metodológico que corrija ciertos pasos de la metodología original para minimizar criterios de subjetividad en los factores con dificultad de valoración, la estabilidad estructural y la reserva mineralógica, eliminando en la medida de lo posible, la arbitrariedad en la interpretación. Además, esta mejora del sistema de valoración facilita la aplicación del método de cara a la futura evaluación general en otros estudios.

## 7. CONCLUSIONES

- La evaluación otorga a la práticamente valores óptimos en la valoración global como principal aprovechamiento potencial, seguido de los cultivos agrícolas y forestal respectivamente.
- Las características ambientales la zona de estudio presenta unas condiciones favorables desde el punto de vista de los factores químicos, siendo claramente más restrictivos los factores físicos relacionadas con drenaje, profundidad y textura/estructura, cuyas que limitan a su vez la valoración final.
- En suelos poco evolucionados, donde sea sencillo estudiar *in situ* parámetros edáficos como la profundidad y que no presenten regímenes de humedad deficitarios, podría llevarse a cabo una primera estimación de la capacidad general de uso. No así en caso de suelos profundos bien desarrollados, en los que el régimen de humedad y los factores físicos sean óptimos, donde será necesario estudiar todos los factores químicos y determinar si estos son limitantes.
- La interpolación espacial presenta un buen ajuste en estudios de esta naturaleza al arrojar resultados fiables siendo recomendable su aplicación. No obstante, es necesario establecer una superficie de muestreo con observaciones bien distribuidas para mejorar la robustez del método y evitar amplias zonas carentes de datos.
- La mejora del método propuesta en este trabajo para evaluar algunos de los parámetros como son la estabilidad estructural y la reserva mineralógica resulta un procedimiento sencillo que permite mantener la objetividad del evaluador.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso Herrero, E., Vidal Bardán, M., Villa Bermejo, J.E., Fuertes Gutiérrez, I., Alcalde Aparicio, S., Robles Llamazares, J.A., Rodríguez Blanco, J., Juan González, L.A. (2010). *Plan piloto del mapa de suelos de la provincia de león escala 1:50000. Memoria Hoja 128 (Riello)*. León: Universidad de León.

Añó Vidal, C., Sanchez Díaz, J. y Antolín Tomás, C. (1997) "Análisis y valoración de los sistemas de evaluación de suelos en España. Evolución, tendencias actuales y perspectivas futuras", *Estudios Geográficos*, 58(228), pp. 331-354.

Beek, KJ, de Bie, K & Driessen, P. (1997) "Land evaluation for sustainable land management" *XXVI Brazil Soil Science Congress, Rio de Janeiro, Brazil (1997)*, 1, pp. 1-20.

Blanco Sepúlveda, R. y Larrubia Vargas, R (2008) "Usos agrarios y sostenibilidad medioambiental. Evaluación de la capacidad agrológica y socioeconómica de la Anarquía (Málaga)", *Cuadernos geográficos*, (42), pp. 83-108.

Blanco-Sepúlveda, R. (2000) "Importancia del conocimiento de la distribución de los suelos en el territorio para la evaluación de suelos para uso agrario", *Baetica. Estudios de arte geografía e historia*, (22), pp. 9-23.

Cantú, M., Becker, A., Bendano, J., Schiavo, H. (2007) "Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices", *Ciencia del suelo*, (25), pp. 173-178.

De la Rosa, D, y Almorza Daza, J. A. (1979). "Modelación matemática y evaluación agrícola de suelos", *Anales de Edafología y Agrobiología*, 38(5-7), pp. 1421-1425.

De la Rosa, D. (2008) *Evaluación agro-ecológica de los suelos*. Madrid: Mundiprensa

De la Rosa, D., Mayol, F., Díaz-Pereira, E., Fernández, M. y de la Rosa, D. (2004). "A land evaluation decision support system (MicroLEIS DSS) for agricultural soil protection with special reference to the Mediterranean region", *Environmental Modelling & Software*, 19(10), pp. 929-942.

Dorronsoro Díaz, C., Sierra, M., Dorronsoro, B., Lozano, F.J., Dorronsoro-Fdez, C. (2010) *ParametricSol\_2010* (versión 1.0) [Programa de ordenador]. Disponible en: [http://edafologia.ugr.es/programas\\_suelos/practgest/agrosol/index.htm](http://edafologia.ugr.es/programas_suelos/practgest/agrosol/index.htm) (Accedido: 10 de septiembre de 2019)

Dorronsoro, C. (2002) "Soil evaluation. The role of the soil science in the land evaluation", *Sustainable use and management of soils in arid and semiarid regions*, 1, pp. 106-128.

Dorronsoro, C. (sin fecha) *Libros web, monografías, trabajos de investigación, conferencias, atlas ... sobre la Edafología y los suelos*. Disponible en: <http://www.edafologia.net/index.htm> (Accedido: 20 de septiembre de 2019).

Duchaufour, P. (1984) *Edafología. 1, edafogénesis y clasificación*. Barcelona: Masson.

FAO (1976). *A framework for land evaluation. Soils Bulletin 32*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Flores, E. J., y Parra, A. D. J. (1998) "El sistema de la FAO para evaluación de tierras sustentado en sistemas de información geográfica (The FAO framework for land evaluation based on geographic information systems)", *Geoenseñanza*, pp. 187-199.

Gisbert, J. M. e Ibáñez, S. (2002) *Génesis de suelos*. Valencia: Editorial de la U.P.V.

Gotway, C. A., R. B. Ferguson, G. W. Hergert y T. A. Peterson (1998). "Comparison of kriging and inverse-distance methods for mapping soil parameters" *Soil science society of america journal*, 60(4), 1237- 1247.

Henin, S.G., Monnier, G. y Combeau, A., 1958. "Méthode pour l'étude de la stabilité structural des sols", *Annales agronomie*, 9, 73-

Henríquez, C., Killorn, R., Bertsch, F. y Sancho, F. (2005) "La geoestadística en el estudio de la variación espacial de la fertilidad del suelo mediante el uso de interpolador kriging", *Agronomía costarricense*, 29(2), pp. 73-81.

Hurni, H. (2000). Assessing sustainable land management (SLM). *Agriculture, ecosystems & environment*, 81(2), 83-92.

Infraestructura de datos espaciales de Castilla y León (2007) *Natura 2000 en Castilla y León*. Disponible en: <http://rednatura.jcyl.es/natura2000/inicio.html> (Accedido: 1 de septiembre de 2019).

Instituto geográfico nacional (2011) *Plan nacional de observación del territorio. sistema de información sobre ocupación del suelo de España*. Disponible en: <https://www.siose.es/web/guest/inicio> (Accedido: 30 de septiembre de 2019).

Instituto geográfico nacional (2019) Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). Disponible en: <http://www.ign.es/wms-inspire/pnoa-ma?request=GetCapabilities&service=WMS> (Accedido: 29 de septiembre de 2019)

Instituto Geológico y Minero de España (1994), *Riello*, hoja 128, 1:50.000. Madrid: IGME (Mapa geológico de España).

Leiva Sajuria, C. (2014) "La agricultura y la ciencia", *Idesia*, 32(3), pp. 3-5.

- Lugo-Morin, D. R., y Rey, J. C. (2009) "Evaluación de la vulnerabilidad a la degradación agroambiental a través del uso del sistema MicroLEIS en los suelos de los llanos centrales de Venezuela", *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(1), pp. 43-60.
- Martín-García, J. M., Márquez, R., Delgado, G., Sánchez-Marañón, M. y Delgado, R. (2015) "Relationships between quartz weathering and soil type (Entisol, Inceptisol and Alfisol) in Sierra Nevada (southeast Spain)", *European Journal of Soil Science*, 66(1), pp. 179-193.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2006) *Mapa forestal de España*. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/mfe50.aspx> (Accedido: 10 de septiembre de 2019)
- Ministerio de agricultura, pesca y alimentación (1991) *Caracterización agroclimática de la provincia de León*. 2ªed. Madrid: MAPA-Secretaría general técnica.
- Nieves, M., Forcada, R. y Sánchez, D. (1986). "Validity of the Riquier-Bramao-Cornet approach to the Spanish soils for the evaluation of the potential productivity of land", *Investigacion Agraria. Producción y Protección Vegetales*, 1(3), pp. 349-358
- Porta Casanellas, J., López-Acevedo y M., Roquero, C. (2003) *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3ª ed. Madrid: Mundi-Prensa.
- Riquier, J., Bramao, D.L. y Cornet, J.P. (1970). "A new system of soil appraisal in terms of actual and potential productivity". AGL/TEST/ 70/6, Roma: FAO.
- Rivas-Martínez, S. 1987. Memoria del mapa de series de vegetación de España 1:400.000. I.C.O.N.A, Madrid.
- Rodríguez Pérez, J. R.; Álvarez Tabeada, M. F. y Peters, S. (2008) "Aplicación de los SIG para determinar la variabilidad espacial de parámetros de calidad del mosto de uva. Experiencia en la D.O. Bierzo", *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*, 53, pp. 412-423.
- Saa Requejo, A., Gallardo Duperier, J. P., Gallardo Díaz, J. (1998) "Nivel de adecuación entre los sistemas de archivo de datos de suelos y los métodos de evaluación de tierras", *Boletín de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo*, (4), pp. 107-116.
- Sánchez-Marañón, M., Delgado, R., Párraga, J., & Delgado, G. (1996) "Multivariate analysis in the quantitative evaluation of soils for reforestation in the Sierra Nevada (southern Spain)", *Geoderma*, 69(3-4), pp. 233-248.
- Schulz, M. S. y White, A. F. (1999) "Chemical weathering in a tropical watershed, Luquillo Mountains, Puerto Rico III: Quartz dissolution rates", *Geochimica et cosmochimica acta*. 63(3-4), pp. 337-350.
- Storie, R.E. (1950) "Rating soils for agricultural, forest and grazing use", *Transactions 4<sup>th</sup> international congress os soil science*, 1, 336-339.
- Vidal, C. A., Díaz, J. S., & Tomás, C. A. (2018) "Análisis y valoración de los sistemas de evaluación de suelos en España. Evolución, tendencias actuales y perspectivas futuras", *Estudios Geográficos*, 58(228), pp. 331-354.
- Villatoro, M., Henríquez, C. y Sancho, F. (2008) "Comparación de los interpoladores IDW Y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo", *Agronomía costarricense*, 32(1), pp. 95-105.
- Zinck, J. A. (1996). "La información edáfica en la planificación del uso de las tierras y el ordenamiento territorial", en Aguilar, R. J., Martínez, R. A. y Roca, R. A. (ed.). *Evaluación y manejo de suelos*. Granada: Junta de Andalucía, Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, Universidad de Granada, pp. 49-75.

**ANEXO I - Datos medios mensuales de temperatura, precipitación y evapotranspiración potencial según Thornthwaite. Fuente: Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, 1991.**

Tabla 15.- Datos medios mensuales de temperatura, precipitación y evapotranspiración de la estación de Murias de Paredes. Fuente: Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, 1991.

<b>Temperatura media (°C)</b>	0,9	1,8	4,8	6,8	9,9	13,9	16,5	16,1	13,5	9,5	4,8	1,9	10
<b>Precipitación (mm)</b>	100,1	88,6	94,2	67,4	82,6	69,3	30,7	34,5	59,4	93,9	114,7	120,6	956
<b>ETP (mm)</b>	3,9	7,8	25,4	39,4	64,3	91,3	109	99	72,1	46,5	20,2	7,7	586,7
<b>Mes</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>MY</b>	<b>J</b>	<b>JL</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>Anual</b>

Tabla 16.- Datos medios mensuales de temperatura, precipitación y evapotranspiración de la estación de San Martín de la Falamosa. Fuente: Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, 1991.

<b>Temperatura media (°C)</b>	2,3	3,3	6,4	8,6	11,7	15,8	18,5	18	15,3	11	6	2,9	10,4
<b>Precipitación (mm)</b>	107,2	90	79,9	60,3	63,7	49	23,6	16,9	49,1	69,4	88,4	95,4	792,4
<b>ETP (mm)</b>	7,3	11	28,6	43,5	68,9	97,6	117	105,7	76,5	48,5	21,1	9	635
<b>Mes</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>MY</b>	<b>J</b>	<b>JL</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>Anual</b>

Tabla 17.- Datos medios mensuales de temperatura, precipitación y evapotranspiración de la estación de Villameca. Fuente: Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, 1991.

<b>Temperatura media (°C)</b>	2,8	3,6	6,3	8,5	11,9	16,5	19,6	19,1	15,9	11,5	6,1	3,3	10,4
<b>Precipitación (mm)</b>	116,5	95,2	92,5	60,6	67,8	50,2	23,9	18,4	43,5	73,3	98	112,7	852,6
<b>ETP (mm)</b>	8,5	11,9	26,3	41,1	68	100,5	123,5	111,5	78,6	49,3	20,5	9,4	649
<b>Mes</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>MY</b>	<b>J</b>	<b>JL</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>Anual</b>

**ANEXO II – Valoración y evaluación de parámetros para la obtención de FF, FQ y EG**

Tabla 18.- Valoración y evaluación para uso como cultivos agrícolas.

<b>Perfil</b>	<b>H</b>	<b>D</b>	<b>P</b>	<b>T</b>	<b>FF</b>	<b>N</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>FQ</b>	<b>EG %</b>
<b>I</b>	0,6	0,9	0,5	0,9	0,41	0,5	1	0,9	0,9	0,85	0,34	8,37
<b>II</b>	0,6	0,9	0,5	0,9	0,41	0,4	1	1	0,9	0,85	0,31	7,44
<b>III</b>	0,6	0,8	1	1	0,80	0,5	1	0,8	0,95	0,9	0,34	16,42
<b>IV</b>	0,6	1	0,2	0,9	0,18	0,5	1	1	0,85	0,95	0,40	4,36
<b>V</b>	0,6	1	0,8	1	0,80	0,5	1	1	0,85	0,95	0,40	19,38
<b>VI</b>	0,6	0,9	0,2	0,9	0,16	0,4	1	1	0,85	0,95	0,32	3,14
<b>VII</b>	0,6	1	0,5	0,9	0,45	0,4	1	1	0,85	0,95	0,32	8,72
<b>VIII</b>	0,8	1	0,2	0,9	0,18	0,6	1	1	0,85	1	0,51	7,34
<b>IX</b>	0,8	0,1	0,5	0,9	0,05	0,4	1	1	0,85	1	0,34	1,22
<b>X</b>	0,7	0,9	1	1	0,90	0,6	1	1	0,95	0,9	0,51	32,32
<b>XI</b>	0,7	0,9	0,5	0,9	0,41	0,6	1	1	1	0,9	0,54	15,31
<b>XII</b>	0,7	0,8	1	0,5	0,40	0,6	1	1	1	0,9	0,54	15,12
<b>XIII</b>	0,7	0,9	0,5	0,9	0,41	0,5	1	1	0,95	0,85	0,40	11,45
<b>XIV</b>	0,7	0,9	0,5	0,5	0,23	0,4	1	1	0,9	0,95	0,34	5,39
<b>XV</b>	0,7	0,8	0,2	0,5	0,08	1	1	0,8	1	1	0,80	4,48
<b>XVI</b>	0,8	0,4	0,5	0,9	0,18	0,5	1	1	0,85	1	0,43	6,12
<b>XVII</b>	0,8	0,8	0,8	0,9	0,58	0,4	1	1	1	1	0,40	18,43
<b>XVIII</b>	0,8	0,8	0,8	0,9	0,58	0,4	1	1	0,95	0,95	0,36	16,63
<b>XIX</b>	0,8	0,8	0,5	0,5	0,20	0,5	1	1	0,95	0,95	0,45	7,22
<b>XX</b>	0,7	0,9	0,5	0,3	0,14	0,8	1	1	1	0,9	0,72	6,80

Tabla 19.- Valoración y evaluación para uso como pastos.

<b>Perfil</b>	<b>H</b>	<b>D</b>	<b>P</b>	<b>T</b>	<b>FF</b>	<b>N</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>FQ</b>	<b>EG %</b>
<b>I</b>	0,4	0,9	0,8	0,9	0,65	0,7	1	0,9	0,9	0,85	0,48	12,49
<b>II</b>	0,4	0,9	0,8	0,9	0,65	0,6	1	1	0,9	0,85	0,46	11,90
<b>III</b>	0,4	1	1	1	1,00	0,7	1	0,8	0,95	0,9	0,48	19,15
<b>IV</b>	0,4	0,8	0,6	0,9	0,43	0,7	1	1	0,85	0,95	0,57	9,77
<b>V</b>	0,4	0,8	0,9	1	0,72	0,7	1	1	0,85	0,95	0,57	16,28
<b>VI</b>	0,4	0,9	0,6	0,9	0,49	0,6	1	1	0,85	0,95	0,48	9,42
<b>VII</b>	0,4	0,8	0,8	0,9	0,58	0,6	1	1	0,85	0,95	0,48	11,16
<b>VIII</b>	0,7	0,8	0,6	0,9	0,43	0,8	1	1	0,85	1	0,68	20,56
<b>IX</b>	0,7	0,6	0,8	0,9	0,43	0,6	1	1	0,85	1	0,51	15,42
<b>X</b>	0,6	0,9	1	1	0,90	0,8	1	1	0,95	0,9	0,68	36,94
<b>XI</b>	0,6	0,9	0,8	0,9	0,65	0,8	1	1	1	0,9	0,72	27,99
<b>XII</b>	0,6	1	1	0,5	0,50	0,8	1	1	1	0,9	0,72	21,60
<b>XIII</b>	0,6	0,9	0,8	0,9	0,65	0,7	1	1	0,95	0,85	0,57	21,98
<b>XIV</b>	0,6	0,9	0,8	0,5	0,36	0,6	1	1	0,9	0,95	0,51	11,08
<b>XV</b>	0,6	1	0,6	0,5	0,30	1	1	0,8	1	1	0,80	14,40
<b>XVI</b>	0,7	1	0,8	0,9	0,72	0,7	1	1	0,85	1	0,60	29,99
<b>XVII</b>	0,7	0,9	0,9	0,9	0,73	0,6	1	1	1	1	0,60	30,62
<b>XVIII</b>	0,7	0,9	0,9	0,9	0,73	0,6	1	1	0,95	0,95	0,54	27,63
<b>XIX</b>	0,7	0,9	0,8	0,5	0,36	0,7	1	1	0,95	0,95	0,63	15,92
<b>XX</b>	0,6	0,9	0,8	0,3	0,22	0,9	1	1	1	0,9	0,81	10,50

Tabla 20.- Valoración y evaluación para uso como forestal.

<b>Perfil</b>	<b>H</b>	<b>D</b>	<b>P</b>	<b>T</b>	<b>FF</b>	<b>N</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>FQ</b>	<b>EG %</b>
<b>I</b>	0,2	0,4	0,2	0,9	0,07	0,8	1	0,9	0,9	0,85	0,55	0,79
<b>II</b>	0,2	0,4	0,2	0,9	0,07	0,8	1	1	0,9	0,85	0,61	0,88
<b>III</b>	0,2	0,1	0,8	1	0,08	0,8	1	0,8	0,95	0,9	0,55	0,88
<b>IV</b>	0,2	1	0,05	0,9	0,05	0,8	1	1	0,85	0,95	0,65	0,58
<b>V</b>	0,2	1	0,6	1	0,60	0,8	1	1	0,85	0,95	0,65	7,75
<b>VI</b>	0,2	0,4	0,05	0,9	0,02	0,8	1	1	0,85	0,95	0,65	0,23
<b>VII</b>	0,2	1	0,2	0,9	0,18	0,8	1	1	0,85	0,95	0,65	2,33
<b>VIII</b>	0,7	1	0,05	0,9	0,05	0,9	1	1	0,85	1	0,77	2,41
<b>IX</b>	0,7	0,05	0,2	0,9	0,01	0,8	1	1	0,85	1	0,68	0,43
<b>X</b>	0,4	0,4	1	1	0,40	0,9	1	1	0,95	0,9	0,77	12,31
<b>XI</b>	0,4	0,4	0,2	0,9	0,07	0,9	1	1	1	0,9	0,81	2,33
<b>XII</b>	0,4	0,1	0,8	0,5	0,04	0,9	1	1	1	0,9	0,81	1,30
<b>XIII</b>	0,4	0,4	0,2	0,9	0,07	0,8	1	1	0,95	0,85	0,65	1,86
<b>XIV</b>	0,4	0,4	0,2	0,5	0,04	0,8	1	1	0,9	0,95	0,68	1,09
<b>XV</b>	0,4	0,1	0,05	0,5	0,00	1	1	0,8	1	1	0,80	0,08
<b>XVI</b>	0,7	0,1	0,2	0,9	0,02	0,8	1	1	0,85	1	0,68	0,86
<b>XVII</b>	0,7	0,4	0,6	0,9	0,22	0,8	1	1	1	1	0,80	12,10
<b>XVIII</b>	0,7	0,4	0,6	0,9	0,22	0,8	1	1	0,95	0,95	0,72	10,92
<b>XIX</b>	0,7	0,4	0,2	0,5	0,04	0,8	1	1	0,95	0,95	0,72	2,02
<b>XX</b>	0,4	0,4	0,2	0,3	0,02	1	1	1	1	0,9	0,90	0,86

ANEXO III – Representación espacial de los FF.

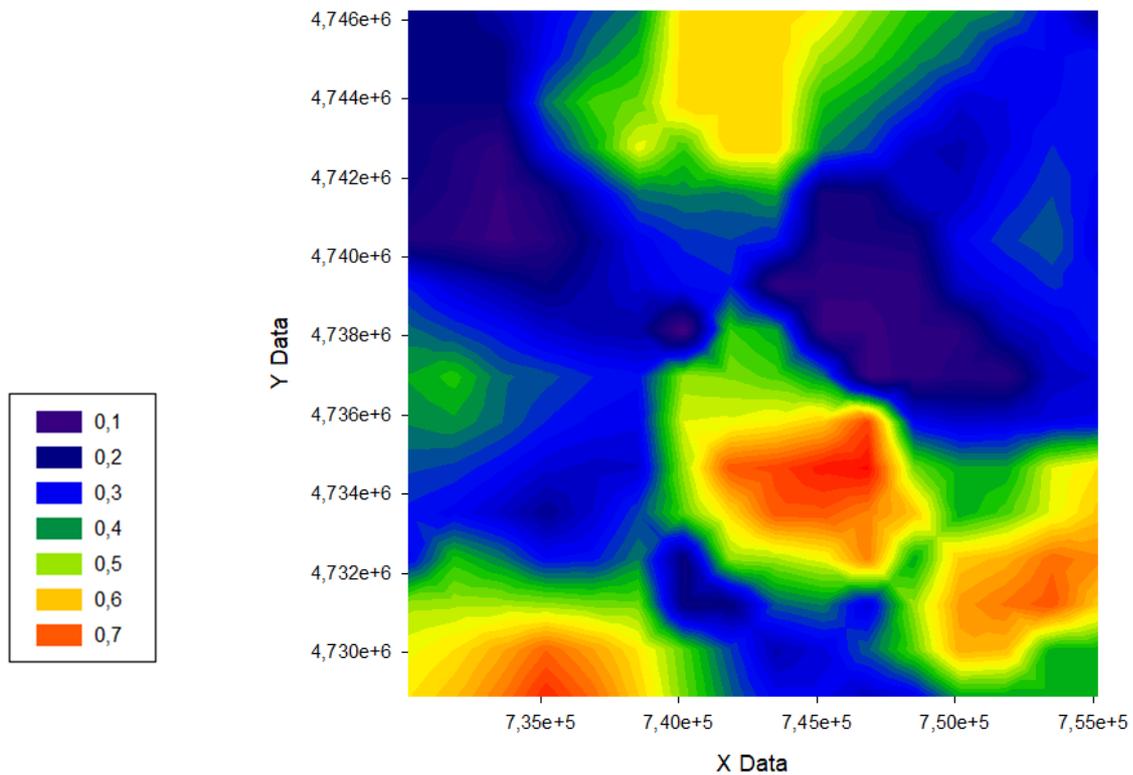
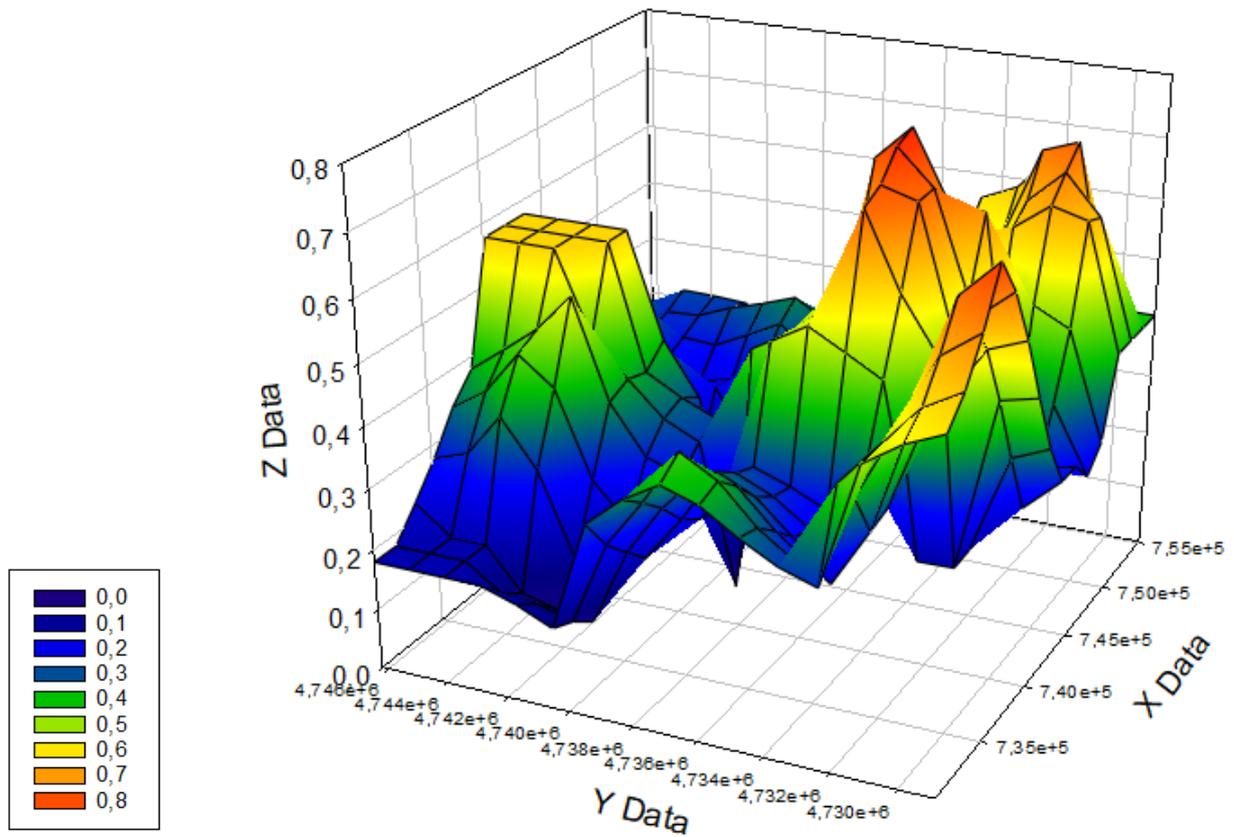


Figura 16.- Representación de la evaluación de los FF para el aprovechamiento «cultivos».

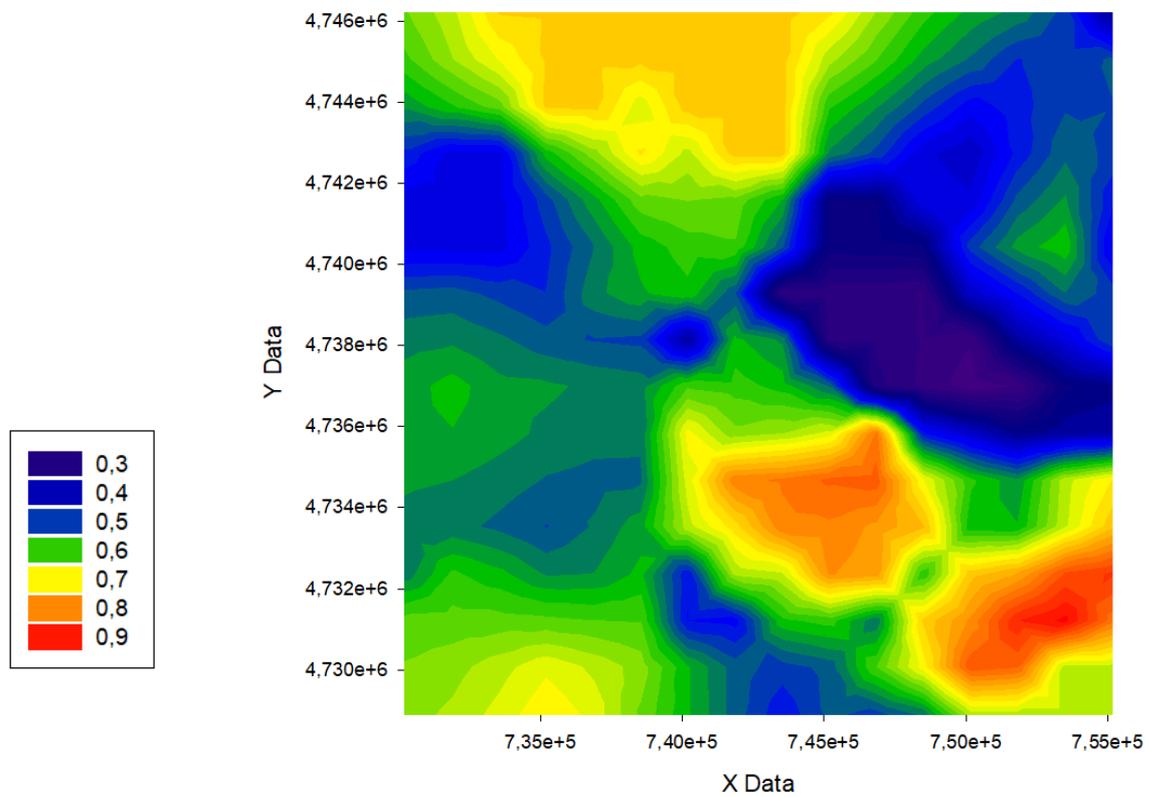
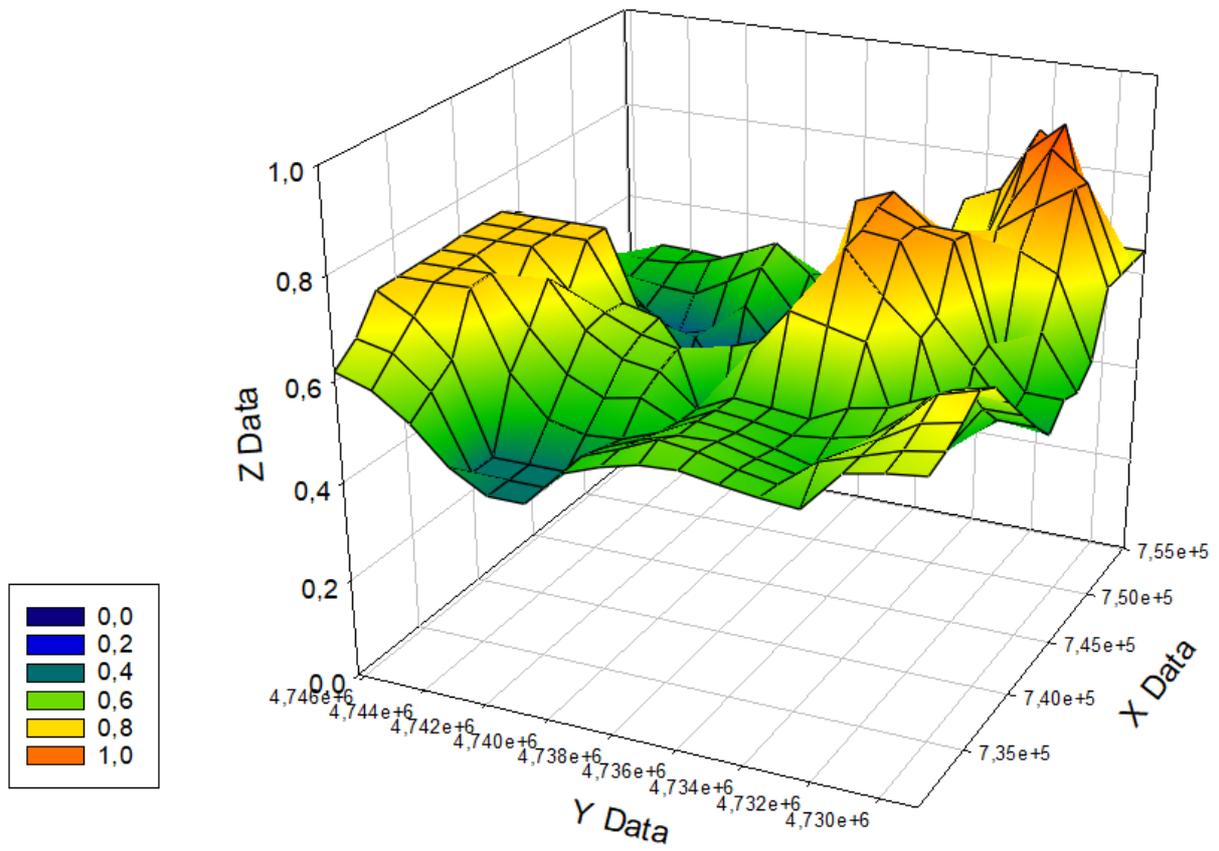


Figura 17.- Representación de la evaluación de los FF para el aprovechamiento «pastos».

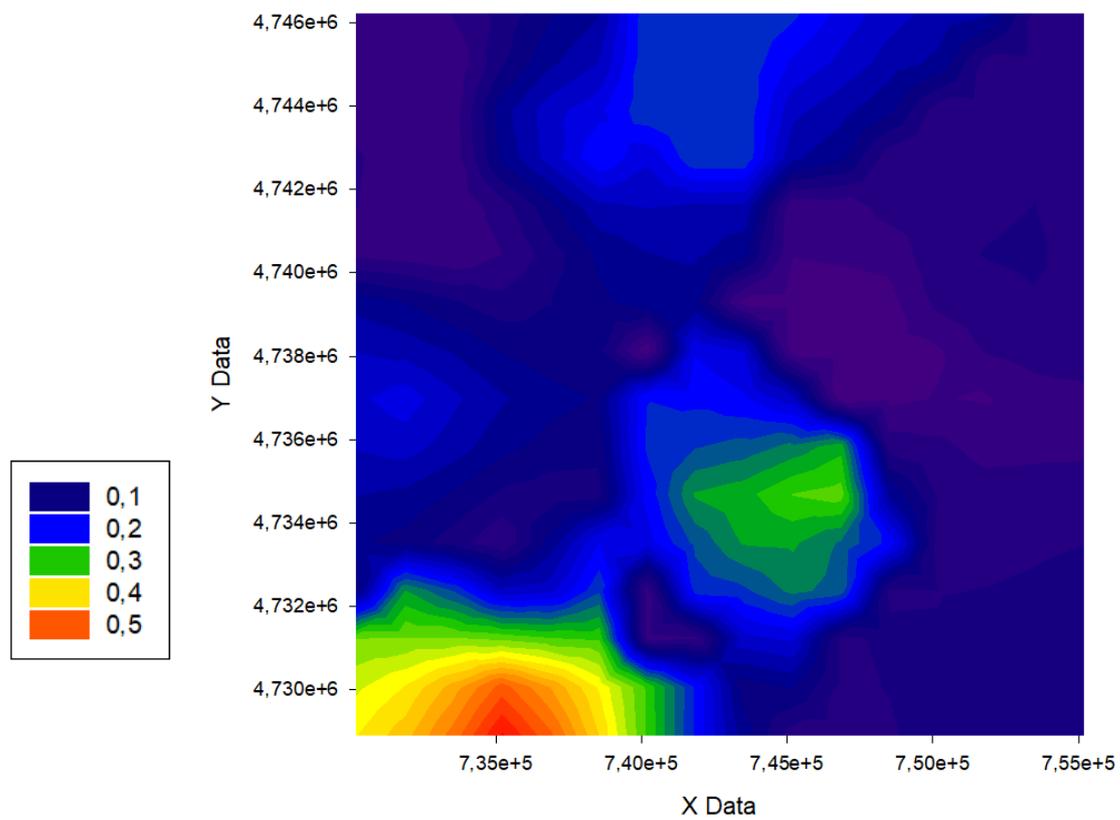
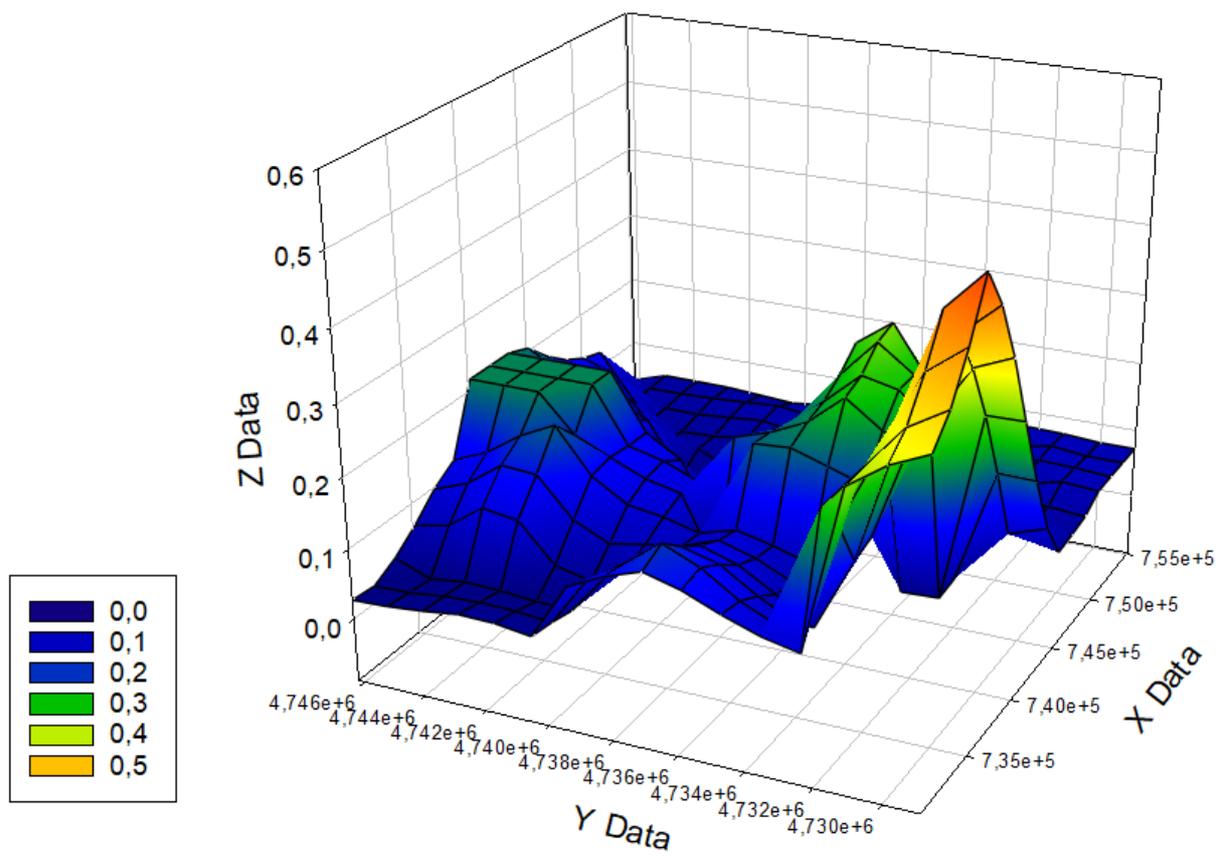


Figura 18.- Representación de la evaluación de los FF para el aprovechamiento «forestal».

## ANEXO IV – Representación espacial de los FQ.

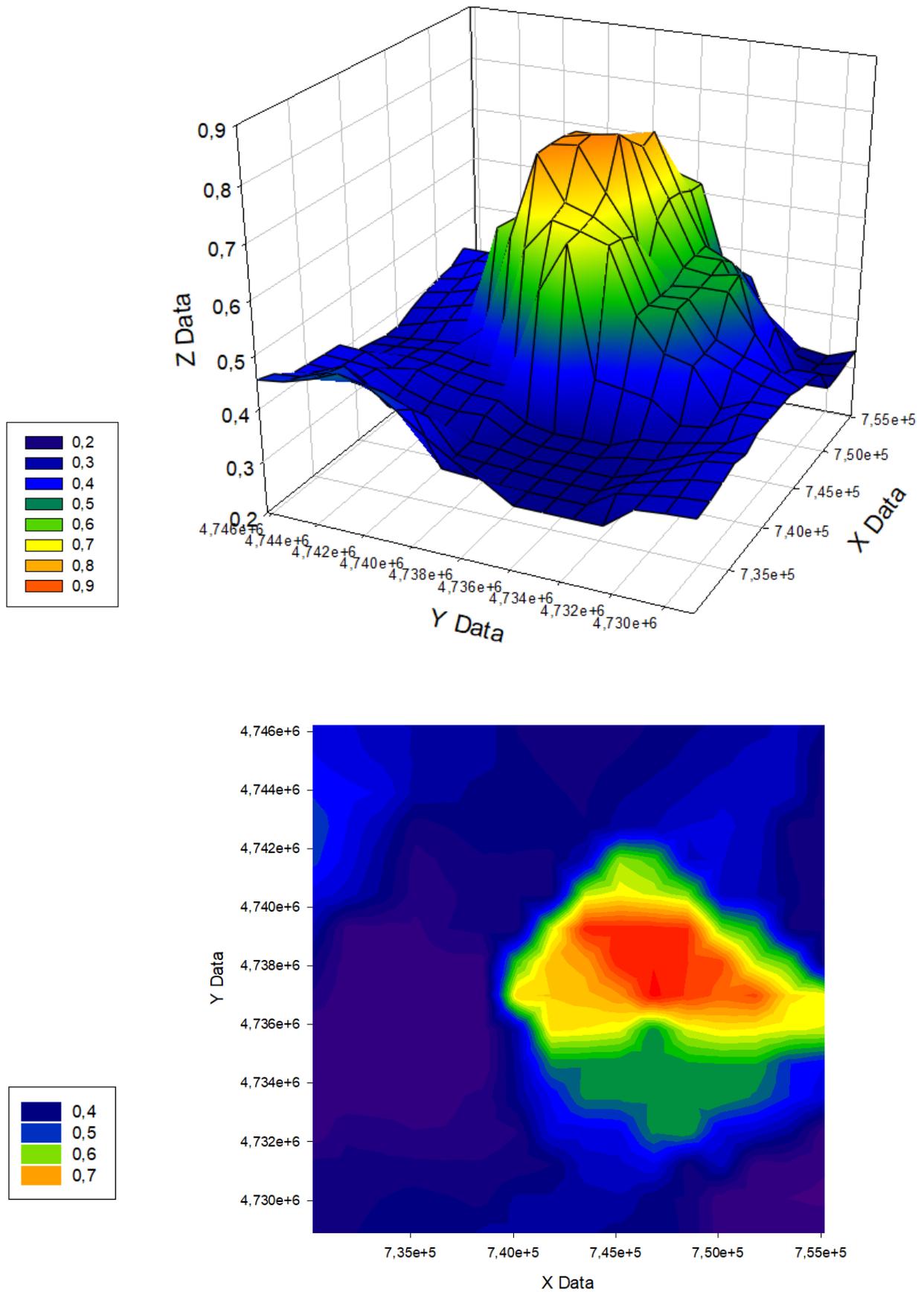


Figura 19.- Representación de la evaluación de los FQ para el aprovechamiento «cultivos».

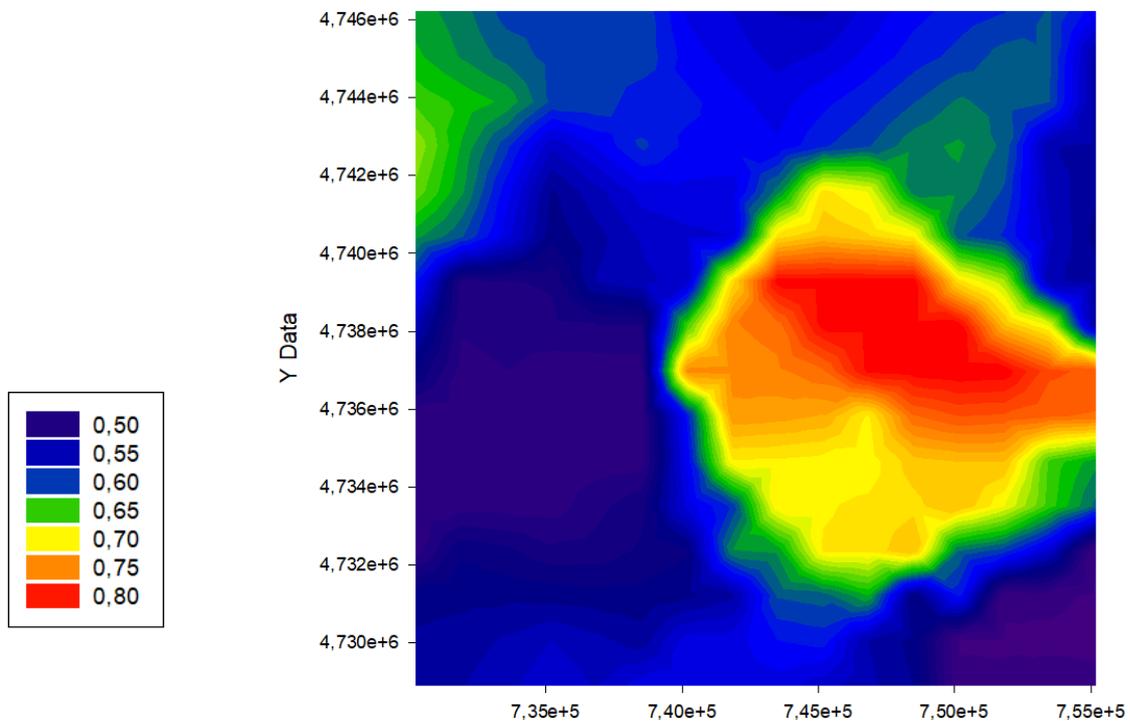
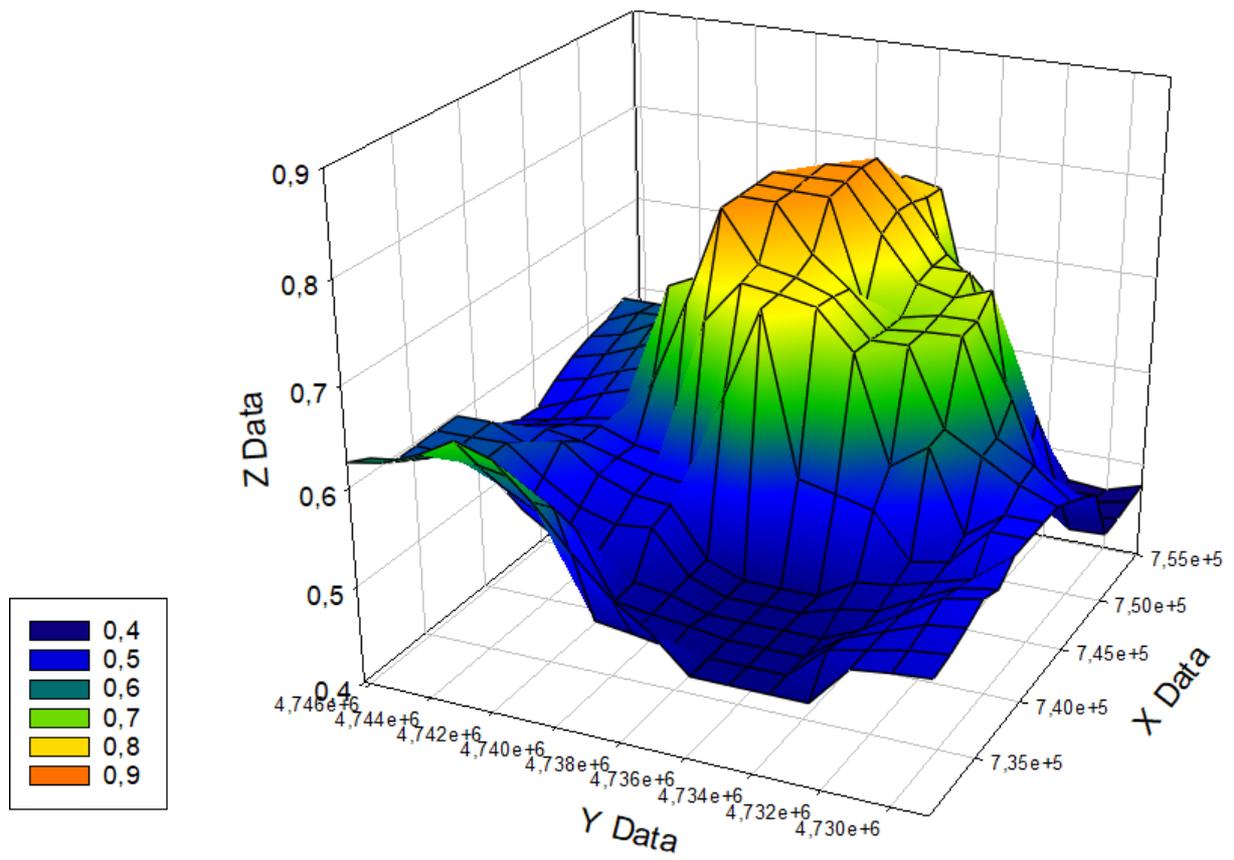


Figura 20.- Representación de la evaluación de los FQ para el aprovechamiento «pasto».

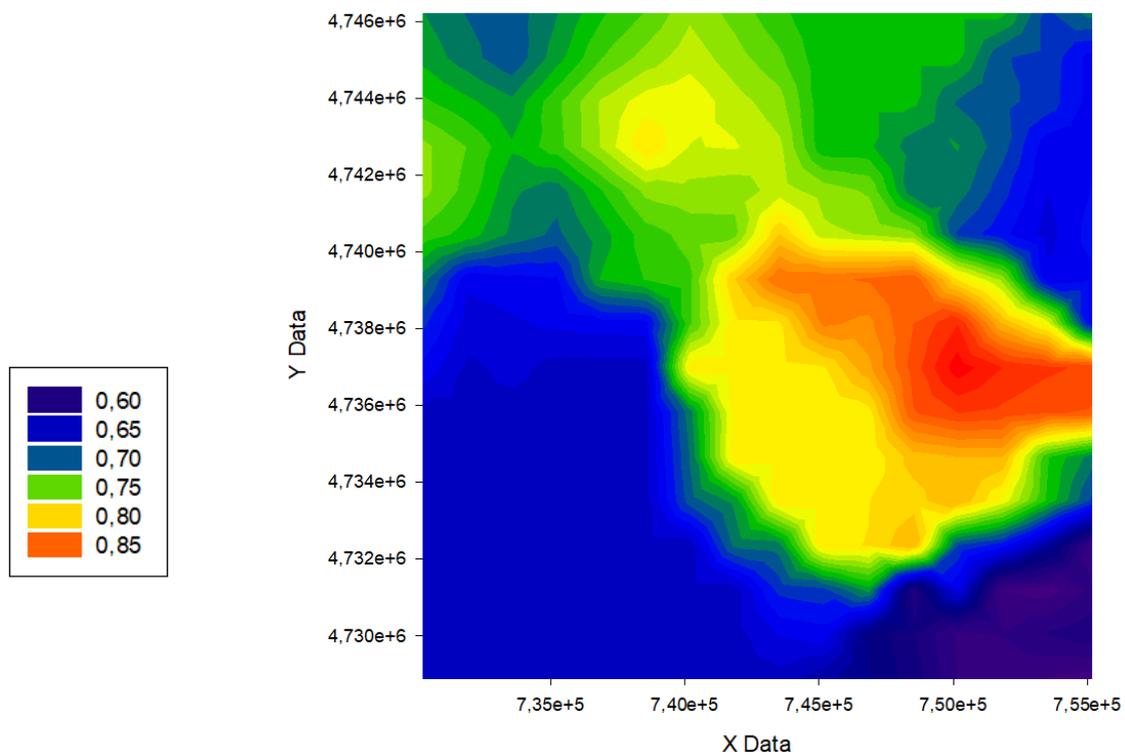
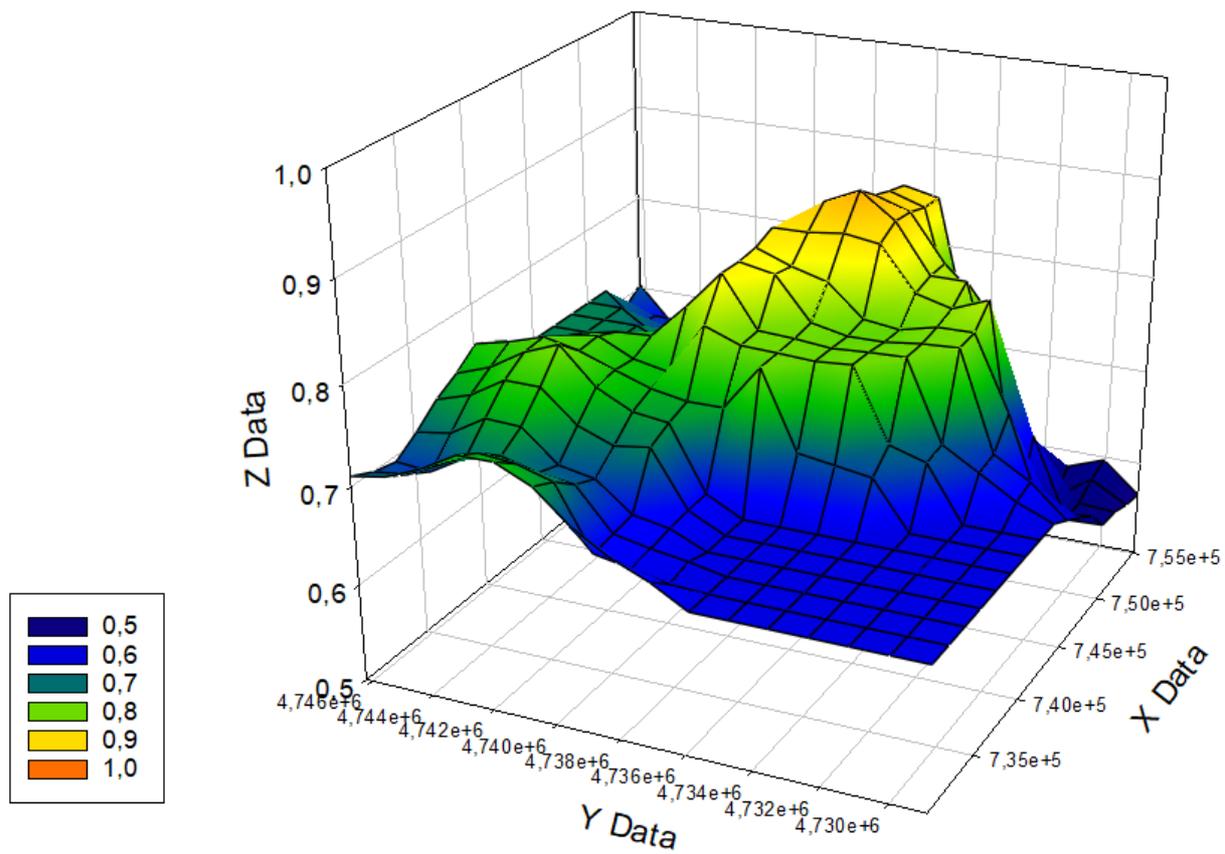


Figura 21.- Representación de la evaluación de los FQ para el aprovechamiento «forestal».