



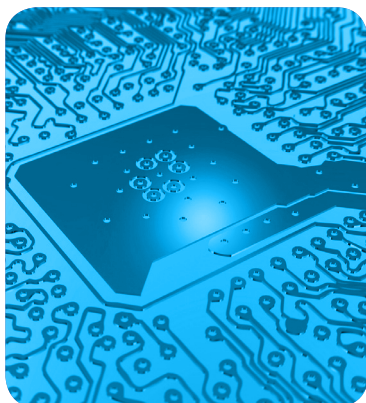
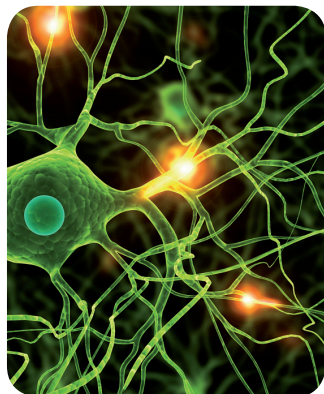
MÁSTERES de la UAM

Facultad de Ciencias /11-12

Máster en Ecología



Efectos de diferentes usos del territorio en las características edáficas: Influencia de una vía pecuaria en las funciones de regulación del suelo
María Acín Carrera



Efectos de diferentes usos del territorio en las características edáficas: Influencia de una vía pecuaria en las funciones de regulación del suelo

María Acín Carrera (maria.acin@estudiante.uam.es)

Resumen. Se estudian las repercusiones de distintos usos del territorio sobre las funciones de regulación del suelo y, particularmente, el papel de una vía pecuaria con uso ganadero activo. La zona de estudio elegida (Provincia de Cuenca) está configurada como un mosaico agrícola con cuatro elementos: viñedos, campos abandonados, manchas de bosque de encinas y un eje vertebrador, la Cañada Real Conquense (CRC). La regulación edáfica hace referencia a la conservación de las características físico- químicas, la retención de agua, la regulación de nutrientes y el mantenimiento de la diversidad microbiológica. En estos cuatro usos del suelo se han valorado parámetros indicadores de estas funciones de regulación. Los resultados confirman que existe una relación directa entre la intensidad de uso del suelo y la degradación de las funciones edáficas. Los suelos de los cultivos, en activo o abandonados, presentan agregados edáficos muy inestables y los menores valores de materia orgánica y biodiversidad edáfica. El laboreo les ha otorgado mayor capacidad de infiltración de agua, pero son incapaces de retenerla. El análisis textural demuestra que en estos suelos se ha perdido el horizonte superficial debido a siglos de manejo intensivo. Por el contrario, los suelos de la cañada tienen muchas similitudes con los suelos bajo los bosquetes. Se diferencian en su mayor densidad aparente (1,4 frente a 1,2 g/ cm³) y menor estabilidad estructural; sin embargo, ambos usos han mantenido el horizontes superficial del perfil, tienen contenidos de materia orgánica, en torno a un 1%, son capaces de retener el agua con la misma eficacia, y tienen un elevado número de unidades formadoras de colonias de microorganismos. Así, los suelos de la cañadas se configuran como un elemento potencial que añade resiliencia al mosaico paisajístico por donde discurre.

Palabras clave: trashumancia, funciones de los ecosistemas, servicios de los ecosistemas, capacidad de retención de agua, secuestro de carbono, microbiodiversidad edáfica .

Abstract. This study has been carried out in order to assess the impact of different land uses on the soil regulation functions, focusing on the role of a cattle track with an active livestock use. The selected study area (province of Cuenca, Spain) is configured as an agricultural zone with four different elements including vineyards, abandoned fields, forest patches of holm oak and a forming division line called Cañada Real Conquense (CRC). Soil regulation refers to conservation of physicochemical skills, water retention, nutrients regulation and maintenance of microbiological diversity. Different parameters considered as indicators of the soil regulation functions have been assessed for each of the four elements or land uses. Results obtained confirm a direct connection between the intensity of land use and the degradation of soil functions. Crop soils, either active or abandoned, present unstable soil aggregates and the lowest values for organic matter and soil biodiversity. Land management has provided them a higher capacity for water infiltration. Nevertheless, they are unable to retain it. Texture analysis has shown the loss of the surface horizon as a result of the centuries of intensive land management. However, cattle track soils present many similarities with soils under forest patches. Main differences lie in a higher density (1,4 versus 1,2 g / cm³) and a lower structural

stability. Despite this, both of the land uses have maintained the surface horizon, present a similar organic matter percentage (around 1%), are able to retain water with the same efficiency, and have a high number of microorganisms colony forming units. Therefore, cattle trucks constitute a potential element which adds resilience to the landscape.

Keywords: Transhumance, ecosystem functions, ecosystem services, water holding capacity, nutrients maintenance, microbiological diversity.

Agradecimientos. Este estudio se encuadra dentro del Proyecto I+D+i “Valoración Económica de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas ligados a la trashumancia en la Cañada Real Conquense: implicaciones para la gestión de los agrosistemas mediterráneos en el contexto del cambio global”, 2008-2011. Financiado por el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino y desarrollado por el Laboratorio de Socioecosistemas del Departamento de Ecología de la Universidad Autónoma de Madrid.

Gracias al “jefe” por su tranquilidad y confianza. A César por el saco de comas, guiones y demás consejos para autodarme aire. A María José, por estar al pie del cañón todos estos meses. A Berta por su entusiasmo contagioso con nuestros microbichos. A Pilar y a Ana que, de repente, se convirtieron en parte fundamental de este proyecto... Gracias porque he aprendido un montón con vosot@s! A Paloma por los libros, por la nevera “cangrejo”; a Pedro, por los mapas y a Juan por la ayuda del laboratorio. A la gente del departamento que me ha enseñado algo –o mucho!-.

A Celia, Mateo, Helena y Pablo, porque ser tía favorita es una de las mejores cosas que me pasa, por “pintar el futuro y compartir el vuelo”, porque yo ya soy vuestra aprendiz. A mis hermanas por ser parte fundamental de la razón que me une a Madrid. A mis padres. A Isa, a Elena, a Abel, a Didi por lo excepcional del día a día desde hace poco o mucho tiempo. A Camilico por tanto años, por pedir tan pocas explicaciones pero siempre estar; por las infiltraciones bajo el sol de julio. A MiLu, porque yo me sé el camino de vuelta a Madrid. A mis “amigos de toda la vida”, porque yo no la recuerdo sin ell@s. A los míos de la RQJ, por el politiqueo, las risas y el aprendizaje compartido; a los “ayayayayaaais...”, también compartidos, en este año y medio de máster. A Álvaro para que no se le olvide, por la traducción y por estar al otro lado en el último empujón. A todo el que/ la que/lo que (incluidas, claro, las mesas altas de ecólogos de la cafetería) me da un motivo, una ilusión, un respiro, una duda... A este edificio de ladrillos y ventanas azules, por ser casi mi casa.

Esto no es más que el comienzo (aunque no tenga muy claro de qué).

Efectos de diferentes usos del territorio en las características edáficas: Influencia de una vía pecuaria en las funciones de regulación del suelo

Introducción

La trashumancia es una de las principales actividades desarrolladas desde la antigüedad en las sociedades mediterráneas para ajustar las necesidades del ganado a las condiciones cambiantes e impredecibles del clima propio, que dificultaban el asentamiento definitivo del ganado en un área determinada. Esta práctica permite maximizar los recursos disponibles estacionalmente (Ruiz y Ruiz, 1986), al trasladar el ganado de los pastos de verano (altitud mayor y latitud norte) a los de invierno (altitud menor y latitud sur) y viceversa. En España, esta actividad alcanzó su máximo esplendor durante la Edad Media (Castán y Serrano, 2004), con el establecimiento del Consejo de la Mesta. Su práctica ha ido moldeando el paisaje física y culturalmente (Herzog *et al.*, 2005) a través no sólo del mantenimiento y cuidado de los pastos estacionales, sino también de la importante red de vías pecuarias repartidas por el territorio, llegándose a hablar del “paisaje de la trashumancia” como un paisaje cultural integrante del mosaico paisajístico mediterráneo (Oteros-Rozas *et al.*, 2010a). Actualmente, el movimiento trashumante se mantiene con una intensidad mucho menor y una estructuración diferente, en parte vinculada al transporte por carretera dependiente de combustibles fósiles. Las vías pecuarias se mantienen, no sin dificultades, gracias a que cuentan con protección gubernamental desde 1995. Aparte de ser rutas de unión entre los pastos de verano y de invierno, se las vincula fuertemente con el mantenimiento de la ganadería extensiva y las razas autóctonas y se les atribuye una función de corredores ecológicos (Gómez Sal y Lorente, 2004; Mangas-Navas, 2004; Manzano y Malo, 2006). En definitiva, se trata de un agente conformador de los paisajes que lleva actuando milenios en el territorio mediterráneo y ha jugado un papel crucial en el funcionamiento de nuestros ecosistemas.

En la actualidad, múltiples trabajos se han empleado en valorar la actividad trashumante de una forma global en relación con los servicios de los ecosistemas que brinda (Bunce *et al.*, 2004; Manzano y Malo, 2006; Oteros- Rozas *et al.*, 2010b). En este contexto, el presente estudio enfoca un concepto consustancial al de servicios: las funciones. Las funciones de los ecosistemas pueden definirse como “la capacidad de los procesos y componentes naturales para proporcionar bienes y servicios que satisfagan las necesidades humanas, tanto directa como indirectamente” (De Groot, 1992). Así, las funciones son el resultado de procesos y

estructuras ecológicas que conforman las potencialidades de suministrar servicios al ser aprovechadas por el ser humano.

Atendiendo a la caracterización de De Groot *et al.* (2000), las funciones de los ecosistemas pueden ser englobadas en cuatro categorías: funciones de información, de producción, de hábitat y de regulación. La función de información se refiere al ámbito perceptible de los ecosistemas que ofrece la posibilidad al ser humano de experimentar el paisaje e interpretarlo, y se relaciona con el enriquecimiento espiritual, cultural y de recreación. La función de producción la integran los procesos en los que el ecosistema fabrica biomasa útil como alimento, o para aprovechamientos materiales. Los ecosistemas proporcionan, también, refugio y hábitat para los seres vivos, lo que se considera la función de hábitat. Por último, la función de regulación se relaciona con la capacidad de los ecosistemas naturales, o semi-naturales, para mantener y ajustar sus procesos esenciales a través de ciclos biogeoquímicos y otros procesos biosféricos. Esta última categoría es clave en la autopoyesis (Varela *et al.*, 1974) o capacidad de los ecosistemas para controlar su propio desarrollo a través de procesos de retroalimentación negativa. Son claves para el mantenimiento de los componentes y procesos naturales y por ellos condiciona la disponibilidad del resto de servicios asociados a las otras tres categorías funcionales (De Groot *et al.*, 2002), (**Fig. 1**).

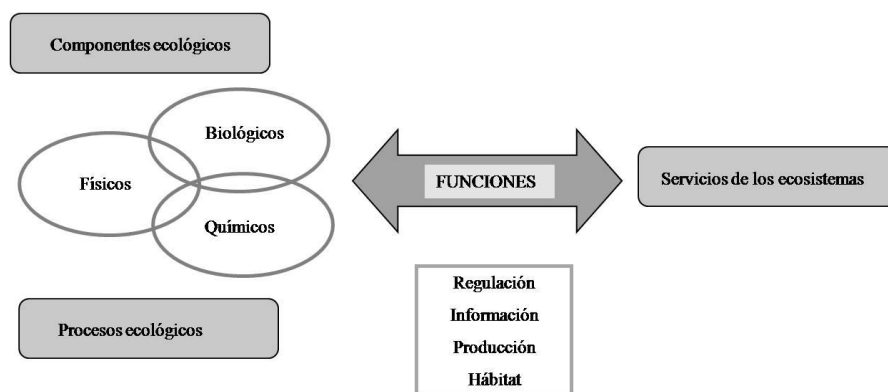


Figura 1. Marco general para la evaluación de las funciones de los ecosistemas. (Modificado a partir de De Groot (1992), De Groot *et al.* (2000)).

Este trabajo analiza las funciones de regulación edáficas ofrecidas por los suelos de una vía pecuaria con uso ganadero activo y las compara con las de otros usos o aprovechamientos adyacentes del mosaico agrario que atraviesa. Cuatro son las subcategorías de funciones de regulación de los ecosistemas en las que el compartimento edáfico juega un papel protagonista: la conservación de las características físico-químicas del suelo, la capacidad de

retención del agua, la regulación de nutrientes y la conservación de la diversidad microbológica (**Tabla 1**). Estas funciones determinarán la capacidad del sistema edáfico para proveer servicios tan importantes como el mantenimiento y regeneración de la estructura de los suelos, su fertilidad y productividad (especialmente en zonas arables y de pasto) el control de la erosión y el grado de infiltración de las aguas subterráneas (De Groot *et al.* 2002).

Tabla 1. Funciones de regulación de los ecosistemas y servicios asociados a esta categoría. (Modificado a partir de Martín- López *et al.* 2009).

FUNCIONES		SERVICIOS		
Categoría	Subcategorías	Regulación	Abastecimiento	Culturales
Regulación	Conservación de las características físico- químicas	-Formación del suelo y control de la erosión -Fertilidad del suelo -Protección frente a tormentas, sequías, inundaciones	-Agricultura -Ganadería (pastos)	- Valor científico
	Retención de agua			
	Regulación de nutrientes			
	Conservación de biodiversidad microbológica			

Es importante resaltar que el subsistema edáfico es un ecosistema donde los componentes fisicoquímicos, biológicos y estructurales han de ser entendidos desde una perspectiva de interrelación e interdependencia. Se trata de un sistema que descansa sobre un material formador inerte y está embebido y cubierto por seres vivos. Bajo la cubierta, los suelos se configuran como un recurso en delicado balance, complejo y crucial para la conservación de las diferentes funciones de los ecosistemas (De Groot, 1992).

La fase sólida está constituida por partículas de distinto tamaño: arena (2-0.05 mm diámetro), limo (0.05-0.002 mm diámetro) y arcilla (<0.002 mm diámetro) (USDA), cuya diferente distribución da lugar a distintas clasificaciones texturales, cada una de las cuales presenta unas características diferenciales en propiedades fundamentales como la densidad aparente, la estructura más probable, la conductividad hidráulica, etc. Es un medio poroso y anisótropo organizado en sucesivos horizontes que constituyen el perfil del suelo. El número, espesor y características de los horizontes del perfil influyen en su relación con el medio que lo rodea, y particularmente en la circulación de agua y gases.

Por otra parte, el uso que se dé al suelo es clave para el mantenimiento de las funciones del ecosistema y su capacidad para proveer unos servicios u otros. Algunos autores han

demostrado importantes diferencias en la estructuración y funcionamiento de los suelos derivadas de la implementación de manejos agrícolas de carácter tradicional, o extensivos, frente a manejos intensivos (Abid and Lal, 2009; Smith and Collins, 2009).

En cuanto al análisis de la función de regulación del suelo que asegura el mantenimiento de sus condiciones físico-químicas, su capacidad de retención de agua y de nutrientes y la conservación de la biodiversidad microbológica, se plantea la necesidad de elegir cuidadosamente los más adecuados de entre los indicadores de uso frecuente en los estudios edafológicos. La complejidad estructural y funcional del ecosistema edáfico no permite relacionar de manera sencilla tales indicadores con cada una de las funciones de regulación que se pretende analizar; sin embargo, sí que es posible elegir aquellos que ofrecen una información analítica más cercana a nuestros fines. A continuación se ofrece una breve justificación de la relación de los parámetros edafológicos elegidos como indicadores de la función de regulación edáfica en sus diferentes facetas, y la relación que guardan entre sí:

- Un estudio estructural centrado en la resistencia y la agregación edáficas es fundamental a la hora de analizar las características físicas del suelo, junto con su granulometría y densidad aparente. La densidad aparente permite hacer una valoración del grado de compactación del suelo, ya que con una mayor densidad, menor será el espacio poroso disponible para el movimiento del agua y gases, penetración de las raíces y desarrollo de las plántulas (Voroney, 2007; Abid and Lal, 2009). El contenido en carbonatos y su relación con el pH del suelo nos informa de las características químicas del mismo.
- La función de retención y conductividad hidráulica, vinculadas a la estructura del suelo se han valorado estudiando el contenido de humedad y la velocidad de infiltración respectivamente. Esta función interrelaciona los ecosistemas con la regulación de los flujos hidrológicos en la superficie de la tierra (De Groot *et al.*, 2002); en el caso específico del suelo, lo vincula con los movimientos de agua dentro del perfil edáfico, tanto en sistemas naturales como manejados. La retención de agua y la dinámica de flujo son los principales impulsores del crecimiento de la vegetación e influyen, de forma determinante, en la comunidad microbiana establecida en este medio, el ciclo de nutrientes y el transporte de contaminantes (Hawsad *et al.* 2004). En particular, la infiltración es un proceso clave en el control de la interfase suelo-agua, clave en el transporte de nutrientes y vital para la nutrición de las plantas.

- El contenido en materia orgánica es crucial en múltiples aspectos, y en este estudio se considera como un indicador de la función de nutrición, dada su elevada correlación con el contenido en nutrientes del suelo y crecimiento de las plantas (Horwath, 2007), favorece la capacidad de retención de agua del suelo (Franzluebbers, 2002), controla la erosión (Franzluebbers, 2002) e interviene en la estabilidad de los agregados (Kandeler *et al.*, 2005; Horwath, 2007), todo ello redundando en un favorecimiento de la diversidad de organismos edáficos (Smith and Collins, 2009; Juárez *et al.* 2006). Además, este es un atributo clave que puede variar con el uso del sustrato (Franzluebbers, 2002), es por ello que su disminución se utiliza como indicador de procesos de degradación del suelo (Van Apeldoorn *et al.* 2010; Reeves, 1997; Abid and Lal, 2009; Franzluebbers, 2002). Distintos estudios han constatado diferencias significativas en el contenido en materia orgánica entre usos y prácticas agrícolas tradicionales e intensivas, producidas por un cambio en la incorporación y distribución de los residuos vegetales en el perfil del suelo y acompañadas por la perturbación física que estas prácticas incluyen (Smith and Collins, 2009; Plante and Parton, 2007).
- La importancia del estudio del contenido microbiológico en los suelos radica, por un lado, en el papel que los microorganismos presentes en el mismo juegan dentro del ciclo del carbono, fundamentalmente mediada por la posibilidad de establecerse que se le confiere a diferentes comunidades vegetales, y por su papel determinante en los procesos de agregación (Chotte, 2005; Kandeler *et al.*, 2005; Barea *et al.*, 2005). El suelo es uno de los ambientes con mayor contenido en microorganismos, pues su carácter heterogéneo procura la existencia de microhábitats de distintas características. Los microorganismos más abundantes son hongos y bacterias. El número, actividad e importancia relativa de estos organismos están condicionados por las características fisicoquímicas y biológicas del suelo que habitan, muchas de ellas controladas, a su vez, por el manejo al que esté sometido dicho sustrato (Smith and Collins, 2005). La función básica de las bacterias es la descomposición y mineralización de los residuos orgánicos, de donde obtienen su fuente energética y alimenticia. El número de bacterias tiene una estrecha relación con algunas propiedades físicas del suelo, como la textura, estructura, porosidad, aireación y retención de humedad, ya que su actividad se beneficia con una mayor disponibilidad de oxígeno, principalmente en aquellos suelos con poca compactación y sin excesos de agua (Acuña *et al.*, 2006). La actividad de las bacterias se ve favorecida por un pH cercano a la neutralidad, altos

contenidos de materia orgánica y alta disponibilidad de algunos elementos necesarios para su metabolismo, como N, Ca y Mg, la estabilidad de estas condiciones constituye la regulación físico-química del medio edáfico. La afección a las poblaciones microbianas, por la aplicación de agroquímicos, por ejemplo, puede alterar esta funcionalidad, y consecuentemente la función de regulación del suelo.

La función básica de los hongos es la descomposición y mineralización de los residuos orgánicos frescos. Al igual que las bacterias, la disponibilidad de oxígeno en el medio es importante, ya que el número de hongos del suelo tiene una estrecha relación con propiedades físicas relacionadas con la función filtrante del suelo: textura, estructura, porosidad, aireación y retención de humedad. En cuanto a parámetros químicos, se favorece la actividad de los hongos a un pH del suelo medianamente ácido y altos contenidos de materia orgánica (Acuña *et al.*, 2006).

Así pues, el suelo es un determinante fundamental en distintas funciones básicas de regulación del ecosistema (Kandeler *et al.* 2005). En este estudio, se pretenden explorar estos parámetros de distinta naturaleza analítica, para componer el estado general de sistema suelo de una vía pecuaria comparada con los usos circundantes y evaluar de qué manera este uso tradicional mantiene la integridad del suelo y su potencial para mantener funciones de regulación del ecosistema que a su vez aseguran otras de soporte para los seres vivos, de regulación de ciclos hídricos y de mantenimiento de la estructura, todas ellas interrelacionadas.

Objetivos e hipótesis

El objetivo general de este proyecto es analizar las funciones de regulación del suelo de una vía pecuaria y las del mosaico agrícola que la circunda, mediante la cuantificación de parámetros físico-químicos, biológicos y estructurales y comprobar si existen o no diferencias entre usos. Para ello, se definen los siguientes objetivos específicos:

- Tipificación del tipo de suelo dominante en el área de estudio.
- Evaluación de las diferencias en cuanto a los parámetros físico-químicos y estructurales y de secuestro de carbono de los suelos en los distintos usos sometidos a comparación.

- Estudio de los posibles contrastes en la capacidad de retención de agua de cada uno de los usos de suelo bajo estudio.
- Estimación de las diferencias cuantitativas con respecto a las unidades formadoras de colonias (UFC) de hongos y bacterias en los distintos sustratos estudiados.

La hipótesis de partida asume que debe existir una relación directa entre la intensidad del uso del suelo y la pérdida cuantificable de las funciones de regulación del mismo. En este gradiente, un extremo estará definido por las condiciones presentes en la zona de control: bosque de encina, que será usada como zona de referencia de lo que serían las características del uso con menor intervención humana del área de estudio; el otro extremo estará definido por el laboreo intensivo del suelo para su aprovechamiento como viñedo. En medio, suelos abandonados de uso agrícola y suelos con un empleo extensivo de cañada, cuyas funciones de regulación podrían estar o no afectadas.

Área de estudio

El área de estudio se sitúa en la Cañada Real Conquense (CRC) o de los Chorros. Esta vía pecuaria tiene una relevancia particular al persistir en ella la actividad trashumante a pie incluyendo ganado vacuno de carne, de lidia y oveja merina (López *et al.* 2010). En el año 2009, fueron 88.860 cabezas de oveja y 1.184 cabezas de vacuo las que transitaron por la CRC (Oteros *et al.*, 2010a). Tiene una extensión de 400 kilómetros y atraviesa 4 provincias: Teruel, Cuenca, Ciudad Real y Jaén.

El estudio se centrará en el tramo que transcurre entre Cuenca y Ciudad Real, concretamente entre los términos municipales de Las Pedroñeras y Socuéllamos (**Fig. 2**). La zona de estudio está caracterizada por una temperatura media anual de 14°C y precipitaciones medias anuales de alrededor de 470 milímetros cúbicos (Datos del INE). Según Thornthwaite la zona se puede clasificar como semiárido, mesotérmico; con pequeño o ningún exceso de agua, propio del interior, indicativo todo ello de una marcada situación de continentalidad y altitud moderada (450 metros sobre el nivel del mar) (Pérez y Sanz, 1998). Según la clasificación de Papadakis, este sector manchego presenta un régimen térmico templado cálido, con un régimen de humedad de tipo mediterráneo seco (Pérez y Sanz, 1998).

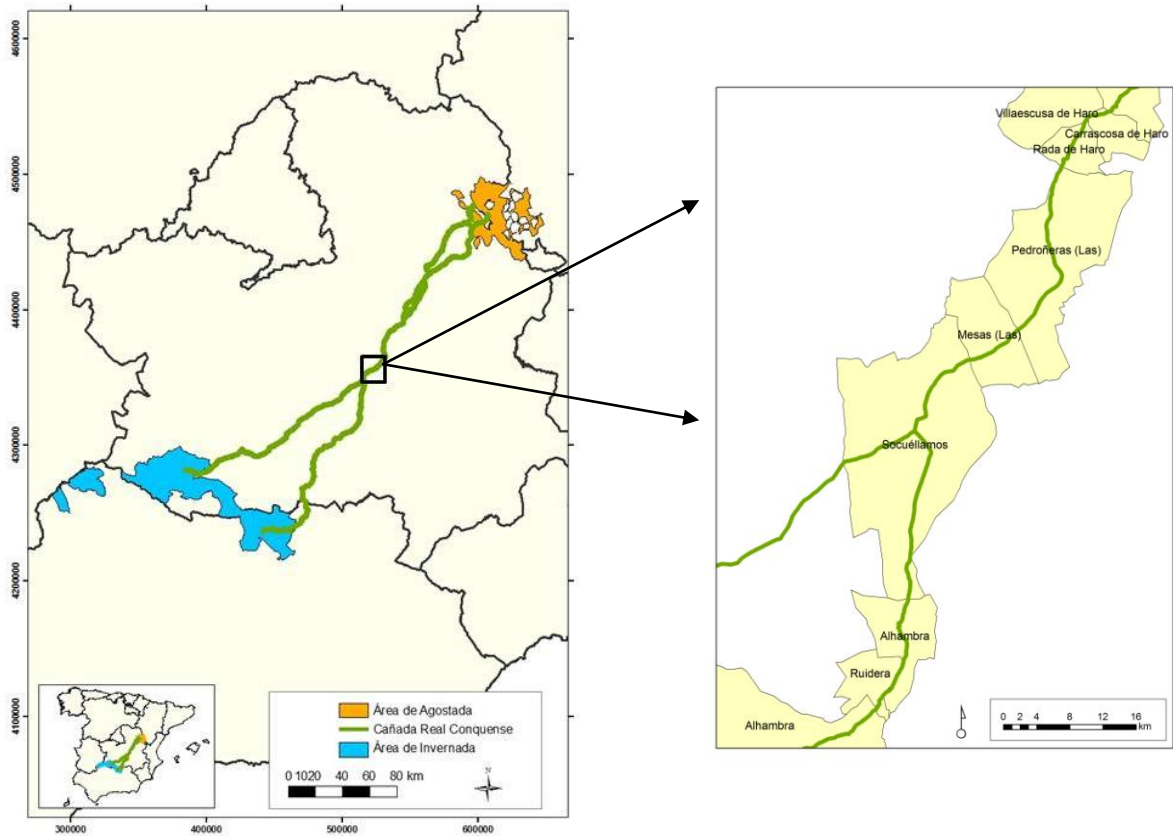


Figura 2. Recorrido de la Cañada Real Conquense desde Teruel a Jaén. Ampliación del tramo concreto de estudio, entre las localidades conquenses de las Pedroñeras y Socuéllamos.

Esta es una zona con un uso principalmente agrícola, donde predomina el suelo de tipo calcisol, asociado a lo que se denominan “paisajes alomados”, siempre dedicados a la agricultura de secano, generalmente al cultivo de viñas (Martín de Santa Olalla, 1994).

Dentro del tramo seleccionado, que comprende alrededor de 20 kilómetros de longitud, se localizan cuatro tipologías del uso de suelo identificadas como:

- Bosquetes de encinas o zona de control (B). Para poder establecer una zona con condiciones “seminaturales”, se han localizado dentro del área de estudio varias zonas de bosque de encina (**Fig. 3**).



Figura 3. Bosquetes de encinas.

- La propia vía pecuaria (C) (**Fig. 4**). Aunque legalmente la vía debe contar con una anchura aproximada de 75 metros, no es extraño encontrar cultivos invadiendo esta zona reservada a la cañada.



Figura 4. Vía pecuaria

- Zonas de cultivos abandonados (A).

En esta área encontramos numerosas parcelas sin cultivar desde hace más de 4 años. Para su selección se ha contado con la colaboración de agricultores conocedores de la zona y del historial de las parcelas (**Fig. 5**). Se ha elegido este uso para intentar observar si la ausencia de labores agrícolas permite la recuperación de algunas propiedades y funciones del suelo consideradas en este trabajo.

- Zona de cultivos en uso (V). Los cultivos predominantes en esta zona son los viñedos, tanto en “espaldera”, como en “vaso” (**Fig. 5**). Este uso agrícola implica una alteración intensa de las propiedades del suelo.

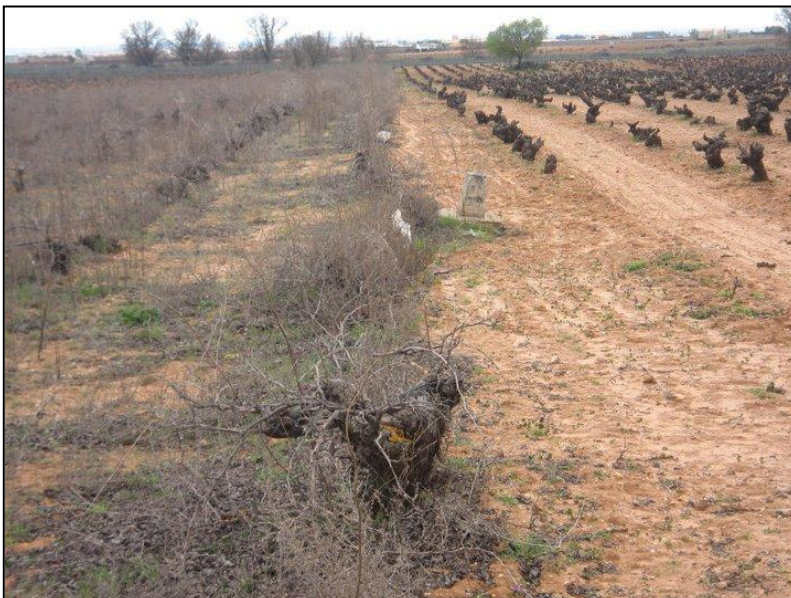


Figura 5. Zona de contacto entre una parcela de cultivo en uso y otra de cultivo abandonado.

De esta forma, han quedado determinados cuatro tratamientos, establecidos en función a su uso diferencial del sustrato: cultivos en activo de viñedos, cultivos abandonados, la vía pecuaria y la zona de control. Habiéndonos asegurado de la homogeneidad del sustrato entre todos ellos, así como la igualdad de las pendientes, evitando de esta forma tener algún factor externo de variabilidad que pudiera añadirse a la de los datos obtenidos.

Metodología

Para comparar los parámetros indicadores de funciones de regulación que presentan los suelos de la vía pecuaria y de su mosaico circundante, el estudio se organizó en cuatro ejes fundamentales: (1) su estructura, (2) su capacidad para retener agua, (3) los parámetros físico-químicos y (4) el contenido microbiológico. En cualquier caso, es preciso entender estos cuatro aspectos desde una perspectiva de completa interrelación e interdependencia entre ellos. En concreto, y en concordancia con las subcategorías referentes a las funciones de regulación de suelos (Martín- López *et al.*, 2009), se han estudiado diferentes parámetros que pueden considerarse indicadores de esta función (Rutgers *et al.*, 2011) (**Tabla 2**).

Tabla 2. Parámetros indicadores de la función de regulación analizados en este estudio (en base a Tabla 1 (modificada de Martín- López *et al.* 2009) y Rutgers *et al.*, 2011).

FUNCIONES		PARÁMETROS ANALIZADOS INDICADORES DE FUNCIONES
Categoría	Subcategorías	
Regulación	Conservación de las características físico-químicas	Estabilidad de agregados, contenido en carbonatos, análisis granulométrico, densidad aparente
	Retención de agua	Infiltración, humedad volumétrica y gravimétrica
	Regulación de nutrientes	Contenido en materia orgánica
	Conservación de biodiversidad microbiológica	Unidades Formadoras de colonias de bacterias y hongos

Muestreo

El muestreo cuenta con tres fases diferenciadas en el tiempo, desarrolladas entre el invierno y el verano de 2011. En una primera visita a la zona en el mes de febrero se pudo comprobar su carácter homogéneo desde el punto de vista edafológico, por lo que era de esperar que las diferencias entre unos suelos y otros se encontraran sólo en los primeros 20-25 cm, esto es, la zona explorada por los aperos de labranza utilizados en viticultura. La primera recogida de muestras se desarrolló a lo largo del mes de marzo, cuando se tomaron las necesarias para los análisis de carácter físico-químico. En primavera, se recogieron las muestras destinadas al análisis de las colonias microbiológicas: hongos y bacterias. Finalmente, en el verano, se realizó una calicata en un lugar representativo del área de estudio. Además, en esta última fase estival, se realizaron los ensayos de infiltración, pues deben llevarse a cabo con el suelo totalmente seco, se describieron los horizontes del perfil de suelo y se tomaron muestras a distintas profundidades para llevar a cabo la clasificación del mismo.

En la zona de estudio seleccionada, se localizaron un total de 40 parcelas: 10 correspondientes a cada una de las tipologías de sustratos: parcelas cultivadas (viñedos), abandonadas (viñedos), en la propia Cañada y en los puntos "control" situados en bosques.



Figura 6. Puntos muestreados del tramo de la Cañada Real bajo estudio. Con un total de 40 puntos, 10 de cada tipo de uso del territorio.

La selección de las parcelas se realizó de forma sistemática, en función a la limitación que impone el localizar cultivos abandonados desde hace más de 4 años, este plazo de tiempo fue elegido como mínimo necesario para detectar algún cambio significativo (Pinamonti et al., 1996; Marques et al., 2009). De esta forma, con respecto a las parcelas abandonadas, se tomaron muestras en paralelo de las tipologías de uso cañada y viñedos en activo, ya que los bosquetes de encinas se situaban dos zonas concretas del área de estudio. Esto es, dentro de las limitaciones existentes, se intentaron localizar parcelas cercanas de los 4 tipos de sustratos analizados (**Fig 6**). La toma de muestras dentro de cada parcela se hizo al azar.

Se hizo preciso evaluar, de una forma indirecta, la edad de los bosquetes de encinas relictos en la zona de estudio. Para ello, se midieron los diámetros de los troncos de encinas y se estimó la edad a través de la extrapolación realizada a raíz del estudio de Izquiero *et al.* (2007) para esta especie en España. Este cálculo fue corroborado por habitantes de la zona que dataron, igualmente, la edad de los bosquetes entre 40 y 50 años.

Determinaciones analíticas: Parámetros físico químicos.

En cada una de las 40 parcelas seleccionadas se tomó 1kg de muestra, formada por la mezcla de 3 alícuotas de unos 300 gramos cada una, seleccionadas al azar en los primeros 10 cm de la superficie del suelo.

Estas muestras fueron llevadas al laboratorio, donde se extendieron y dejaron secar al aire (**Fig. 7**). Posteriormente, las muestras fueron homogeneizadas, pasándose por un tamiz de 2mm, la fracción de tierra fina resultante es la utilizada para realizar los análisis.



Figura 7. Muestras extendidas para su secado al aire.

Respecto al pH en suelos, se distinguen dos tipos de acidez: la acidez actual y la acidez potencial o de cambio. La primera hace referencia a la cantidad de hidrogeniones presentes en la solución del suelo en un instante dado, en equilibrio con los demás iones de la solución y medido en agua destilada. La acidez potencial se refiere a la cantidad total de hidrogeniones que pueden pasar a la solución del suelo cuando son desplazados por una base en un proceso de intercambio iónico y se mide en KCl 1 molar. El pH de ambas disoluciones se mide con el pHmetro (**Tabla 3**). El análisis de la conductividad tiene como objetivo determinar la concentración total de componentes ionizados, es decir, de sólidos totales disueltos en la suspensión de suelo en el agua, que se evaluó con un conductímetro. Estos análisis se realizaron para las 40 muestras tomadas en campo.

Para la realización del estudio textural, el método seguido es el de Boyoucos, (1936) y Day (1965) (**Tabla 3**) basado en la diferencia de velocidad de sedimentación de las partículas dispersadas en función de su distinto tamaño, debido a la resistencia que opone el medio a su desplazamiento (ley de Stokes). Así, se fue midiendo la densidad de la suspensión a tiempos determinados, con lo que se obtuvieron los porcentajes de arena, limo y arcilla, respectivamente, para el total de las 40 muestras tomadas.

La densidad aparente se calculó a partir de muestras inalteradas, estructuradas, del suelo; es decir, de los macroagregados, empleando el método del mercurio (Jonston, 1945, **Tabla 3**). En este caso, fueron seleccionados 5 agregados de cada una de las 40 muestras tomadas.

Con respecto a la estabilidad de los agregados, se determinó impactando gotas sobre agregados edáficos de diámetros comprendidos entre 4 y 4.8 mm, siguiendo el método de Imeson y Vis, (1984), cuya resistencia constituye un indicador de la estabilidad estructural del suelo en su conjunto (**Tabla 3**). Para cada muestra tamizada de cada una de las 4 tipologías de uso de suelo, se sometieron al análisis a 10 agregados; lo cual resulta en el análisis de 100 agregados para cada uso del suelo.

Para cuantificar el contenido en carbono orgánico de las muestras, se utilizó el método de pérdida por ignición ("*Loss on ignition*", LOI) (**Tabla 3**). La muestra de suelo es sometida a dos fases secuenciales: inicialmente, es introducida durante una noche en una estufa a 105°C; posteriormente, se combustiona en la mufla a una temperatura de 360°C durante dos horas, siendo la pérdida de peso obtenida proporcional al contenido de carbono orgánico perdido del suelo muestra (Schulte and Hopkins, 1996). Se realizó una prueba de contenido en carbono

orgánico para cada muestra tomada, lo que resultó en 10 pruebas por cada tipología de uso; esto es, un total de 40 análisis LOI. Se tomó la decisión de transformar el contenido en materia orgánica (en g/kg) al contenido porcentual de materia orgánica. El índice de conversión usado para ello es el de 1.72, basado en la asunción de que la materia orgánica contiene un 58% de carbono orgánico (Nelson and Sommers, 1996).

La determinación de los carbonatos se realizó mediante el uso del calcímetro de Bernard (Allison *et al.* 1965; Nijensohn y Pizarro, 1960) (**Tabla 3**). El método consiste en determinar el CO₂ desprendido al tratar la muestra de suelo con carbonatos con ácido clorhídrico en un dispositivo cerrado. A partir del volumen de CO₂ desplazado y el peso de la muestra, se obtiene el porcentaje de carbonato cálcico contenido en la misma. Se realizaron tres pruebas para cada tipología del uso de suelo, ya que los resultados tienden a presentar valores muy homogéneos.

Determinaciones analíticas: Análisis microbiológico

Para la estimación del contenido microbiológico del suelo, en la tercera semana de Mayo se tomaron muestras de 5 parcelas de cada una de las tipologías de sustrato, lo que resultó en un total de 20 muestras. Cada una de ellas estaba formada por 3 alícuotas de igual peso cogidas al azar dentro de la parcela. Se trasladaron en recipientes limpios, bajo condiciones de frío y oscuridad al laboratorio.

Para la posterior siembra de las muestras fue necesario, en primer lugar, preparar los medios de cultivo. El medio requerido para las bacterias es *Agar Nutritivo* mientras que, las colonias de hongos se desarrollan sobre placas de *Agar Sabouraud Cloranfenicol*. El *Agar Nutritivo* se preparó diluyendo 23 gramos (g) del mismo por cada litro de agua. La dilución se pasó por autoclave durante 20 minutos a una temperatura de 121°C y 1 atmósfera de presión. Con ello, el medio quedaba esterilizado y homogeneizado. Para el *Agar Sabouraud Cloranfenicol* proceso es el mismo; la diferencia radica en que la disolución se prepara a partir de 65 gramos (g) del mismo por litro de agua.

La siembra y análisis del contenido en microorganismos se realizó siguiendo los protocolos propuestos por Page *et al.* (1982) y Lorcho *et al.* (1995) (**Tabla 3**). Las muestras se homogenizaron, haciéndolas pasar por un tamiz de 2mm. En 10 ml de suero fisiológico se re-suspendió 1 g de muestra y se llevó a una placa agitadora durante 10 minutos. Tras dejarlas decantar, se preparó el banco de diluciones (3 para cada muestra). Se sembraron un total de

240 muestras (120 para bacterias y 120 para hongos. Dentro de cada una de estas 120 muestras: 4 tipologías de sustrato x 5 parcelas de cada tipo x 2 réplicas x 3 diluciones) con 0.1 mililitros de las diluciones realizadas, extendiéndose homogéneamente por la placa con un asa Digralsky e incubándose en posición invertida. Las siembras de las diluciones destinadas a la valoración de bacterias se incubaron a una temperatura de entre 25°C y 30°C durante 24 a 72 horas. Las siembras para la valoración de hongos, se incubaron a una temperatura de entre 23°C y 30°C durante 2-4 días. Pasados estos tiempos establecidos, se realizó el recuento de las unidades formadoras de colonias (UFC), que se expresarán por unidad de gramo de suelo seco.

Además, con el objetivo de poder relacionar esta cuantificación de organismos aerobios con ciertas características básicas de los 4 sustratos identificados, se realizaron de forma paralela la medición directa del pH con el pHmetro y las determinaciones del porcentaje de humedad y del contenido de materia orgánica.

Determinaciones analíticas: conductividad hidráulica y capacidad de retención de agua

Durante el mes de julio se realizaron la descripción del perfil del suelo y las pruebas de infiltración, ya que es el momento más apropiado debido al estado de sequedad del suelo.

Se estimó la conductividad hidráulica a partir de ensayos de infiltración, utilizando infiltrómetros de disco (Perroux and White, 1988) (**Tabla 3**). Se realizaron los ensayos en los 5 puntos de muestreo anteriormente seleccionados para la toma de muestras destinadas al estudio microbiológico y, en cada uno de estos puntos, se realizaron 2 réplicas del ensayo.

La valoración de la capacidad de retención de agua se realizó siguiendo el método gravimétrico (Black, 1995) (**Tabla 3**), se pesaron aproximadamente 25 g de muestra de suelo procedente de las parcelas que fueron seleccionadas para el análisis microbiológico; las muestras se sumergieron en agua durante 4 horas para llevarlas a saturación hídrica y se midió la evolución de la pérdida de peso a lo largo de 2 días hasta conseguir el “peso seco al aire” y posteriormente, se llevaron las muestras a la estufa a 105°C durante 24 horas para obtener el peso seco.

Tabla 3. Subcategorías de las funciones de regulación de suelos bajo estudio, con sus parámetros indicadores analizados y el método de análisis empleado para cada uno de ellos (en base a Tablas 1 y 2 (modificada de Martín- López *et al.* 2009) y Rutgers *et al.*, 2011)).

Subcategorías de las funciones de regulación	Parámetros analizados	Métodos usados para los análisis
Conservación de las características físico- químicas	<ul style="list-style-type: none"> - Mediciones de pH y conductividad - Análisis granulométrico - Densidad aparente - Estabilidad de agregados - Contenido en carbonatos 	<ul style="list-style-type: none"> - pHmetro y conductímetro - Boyoucos, (1936) y Day (1965) - Método con mercurio (Jonston, 1945) - Gotas, (Imeson y Vis, 1984) - Calcímetro de Bernard (Allison <i>et al.</i> 1965; Nijensohn y Pizarro, 1960)
Retención de agua	<ul style="list-style-type: none"> - Infiltración - Humedad gravimétrica 	<ul style="list-style-type: none"> - Infiltrómetros de disco (Perroux and White, 1988) - Método gravimétrico (Black, 1995).
Regulación de nutrientes	<ul style="list-style-type: none"> - Contenido en materia orgánica 	<ul style="list-style-type: none"> - LOI (Schulte and Hopkins, 1996)
Conservación de biodiversidad microbiológica	<ul style="list-style-type: none"> - Unidades Formadoras de colonias de bacterias y hongos 	<ul style="list-style-type: none"> - Page <i>et al.</i> (1982) y Lorcho <i>et al.</i> (1995)

Tratamiento estadístico

Los resultados obtenidos en los diferentes experimentos fueron tratados estadísticamente. Se realizaron pruebas no paramétricas de Kolmogorov-Smirnoff y Kruskal-Wallis para la comparación de las muestras provenientes de los diferentes usos, para estimar la significación de las diferencias registradas en los valores de los distintos parámetros analizados: pH, conductividad, composición textural, contenido en materia orgánica, densidad aparente, y UFC de hongos y bacterias, respectivamente. Además, se realizaron pruebas bilaterales, por el procedimiento de Dunn, para el establecimiento de comparaciones múltiples entre los grupos de resultados de los análisis microbiológicos, pudiéndose dividir éstos en grupos significativamente diferenciados. Por último, se efectuó un análisis de componentes principales (ACP), con el objetivo de visualizar la relación existente entre las variables e integrar toda la información recogida por los distintos análisis de laboratorio. Para ello, y debido al carácter no paramétrico de algunas de las variables analizadas, fue preciso realizar antes de este análisis la estandarización de los datos obtenidos. La significación del ACP se testó mediante el test de Barlett de esfericidad. Los paquetes informáticos estadísticos utilizados fueron STATISTICA, SPSS y XLS Statistic.

Resultados

Descripción del perfil del suelo

Descripción macro-morfológica en campo

Los análisis realizados, permitieron caracterizar los suelos de la zona dentro del tipo calcisol, confirmando la prueba realizada en campo, donde se desarrolla espuma tras añadir unas gotas de HCl 1M. El horizonte cálcico comienza dentro de los primeros 100cm del perfil y existe un horizonte árgico que está permeado con carbonato de calcio.

Se realizó una calicata en la zona de estudio, en el margen de una zona conservada, para establecer el tipo de suelo dominante y que permitió establecer ciertas características morfológicas del perfil del suelo, entre ellas color, límite entre horizontes, estructura, su consistencia, la presencia y carácter de poros y raíces. En su estructura se diferencian claramente cuatro horizontes (**Fig. 8; Tabla 4**).

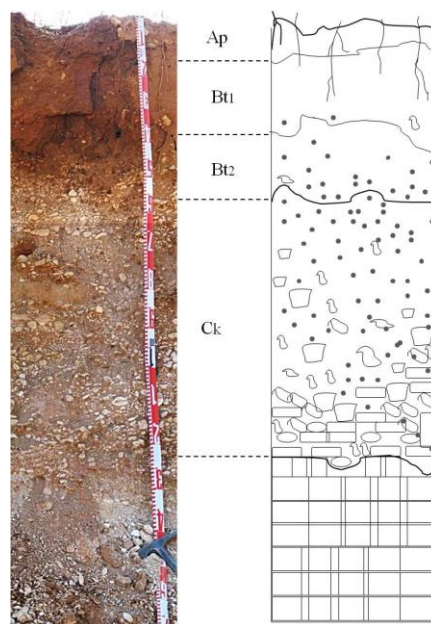


Figura 8. Horizontes del perfil del suelo estudiado.

Tabla 4. Resumen de la descripción macromorfológica del suelo realizada en campo.

Horizonte	Color	Límites	Estructura	Consistencia en seco	Raíces	Poros
Ap	7,5 YR 5/6 Marrón oscuro	Difuso	Grado moderado. Forma granular	Ligeramente duro	Abundantes. Tamaño medio	Pocos. Muy finos
Bt1	7,5 YR 4/6 Marrón oscuro	Brusco y plano	Grado moderado. Forma masiva	Muy duro	Pocas. Muy finas	Pocos. Tamaño micro
Bt2	2,5 YR 4/6 Rojo	Ondulado y gradual	Grado fuerte. Bloques angulares	Duro	Pocas. Finas y medianas	Frecuentes. Tamaño fino
Ck	7,5 YR 6/4. Marrón claro. Con cantos de sílice			Muy duro		

Las muestras tomadas en profundidad fueron analizadas, obteniéndose los valores de los parámetros físico- químicos de cada uno de los horizontes, resumidos en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Descripción de parámetros físico- químicos del perfil del suelo en los diferentes horizontes. Se realizaron tres réplicas analíticas de cada muestra en cada horizonte, siendo el coeficiente de variación inferior al 10% entre las réplicas. (H= horizonte; Prof.= profundidad del horizonte, en cm)

H	Prof.	pH		Conductividad (μ S/cm)	Materia orgánica (%)	Carbonatos (%)	Granulometría		
		H ₂ O	KCl				arcilla	limo	arena
Ap	0-15	8,09	7,59	127,9	0,52	1,55	6,16	13	80,84
Bt ₁	15- 35	8,52	7,59	71,4	0,31	4,025	8,16	10	81,84
Bt ₂	35- 60	8,36	7,45	88,1	0,41	2,42	12,16	10	77,84
Ck	60- 125	8,3	8,07	61	0,10	23,55	4,16	2	93,84

El contenido en materia orgánica es superior en el perfil superficial del suelo, con valores cercanos al 0,5 %. Desciende algo en el perfil subsiguiente y aumenta en el Bt₂, para presentar valores muy inferiores en el horizonte más profundo, próximos a 0,1%.

El análisis granulométrico basado en sistema USDA (limo de 0,05 a 0,002 mm) permite definir la textura del horizonte A como arenosa franca, tanto el horizonte Bt₁ como el Bt₂ presentan una textura de tipo franco arenoso y el Ck, arenoso franco. La conductividad sigue ese mismo patrón de descenso interrumpido por los valores más altos del horizonte Bt₁. El contenido en carbonatos crece con la profundidad lo que se explica por el carácter cálcico de los suelos.

Parámetros físico- químicos

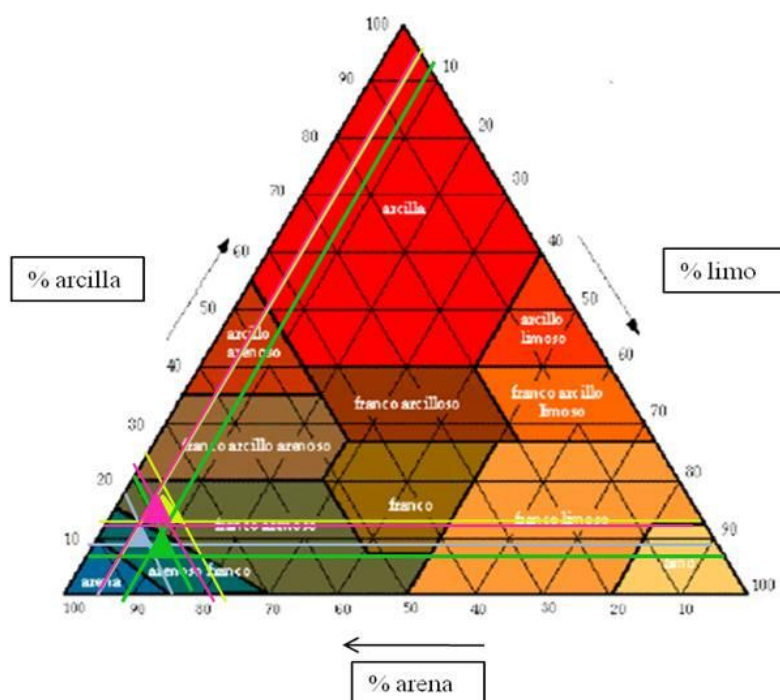
Los parámetros físico-químicos medios obtenidos para los cuatro usos diferenciales del suelo se presentan resumidos a continuación (**Tabla 6**).

Tabla 6. Características físico-químicas del horizonte superficial de los cuatro usos del suelo. Las distintas letras indican diferencias significativas entre los usos (n hace referencia al número de pruebas realizadas para cada uso del suelo).

Variables	n	Viñedo	Abandonado	Cañada	Bosquete
% arcilla	10	14.8 ± 2.1 ^a	14.5 ± 4.3 ^a	9.0 ± 4.6 ^b	9.7 ± 2.4 ^b
% limo	10	9.7 ± 2.3 ^a	8.5 ± 2.7 ^a	9.3 ± 2.1 ^a	8.7 ± 1.9 ^a
% arena	10	75.5 ± 3.4 ^a	77.0 ± 6.8 ^a	81.7 ± 6.0 ^b	81.6 ± 3.4 ^b
pH _{H2O}	10	8,2 ± 0,3 ^a	8,1 ± 0,2 ^a	8,0 ± 0,2 ^a	7,4 ± 0,2 ^b
pH _{KCl}	10	7,5 ± 0,1 ^a	7.3 ± 0.2 ^b	7,4 ± 0,1 ^b	6,8 ± 0,2 ^c
Conductividad (μS/cm)	10	81,6 ± 16,2 ^a	141,1±25,8 ^b	119,4 ± 39,8 ^b	90,4 ± 20,1 ^a
Materia orgánica (%)	5	0,4 ± 0.1 ^a	0,5 ± 0,2 ^a	0,9 ± 0,4 ^b	1,1 ± 0,4 ^b
Densidad aparente (g/cm ³)	5	1.2 ± 0.2 ^a	1,6 ± 0,2 ^b	1.4 ± 0.1 ^c	1.2 ± 0.1 ^a
Estabilidad (nºgotas/agregado)	100	4,3 ± 1,7 ^a	9,4 ± 8,7 ^b	13.7 ± 7.5 ^b	32.9 ± 20.2 ^c
Humedad gravimétrica (%)	5	43 ± 5 ^{ab}	38 ± 16 ^b	53 ± 2 ^{ab}	58 ± 13 ^a
Infiltración (mm/h)	9	35 ± 18	17 ± 8	11 ± 7	7 ± 3

A partir de los datos obtenidos en el análisis granulométrico de las muestras del horizonte superficial, podemos decir que los suelos de la cañada y los bosquetes son de tipo arenoso-franco, mientras que los de los viñedos y los cultivos abandonados de tipo franco arenoso (Fig. 9).

Figura 9. Triángulo donde se recogen los datos medios texturales de los cuatro usos del suelo. Las líneas azules son los datos de los bosquetes, las líneas verdes representan los datos de la vía pecuaria; las líneas rosas son los cultivos abandonados; y las amarillas, los viñedos.



Infiltración

La **Figura 10** muestra las curvas de infiltración de los suelos con distintos usos, el bosque de encinas tiene una tasa de infiltración que comienza con una media de 20 mm/h y se estabiliza al llegar a los 7 mm/h trazando una curva muy tendida y con escasa variabilidad. El suelo de la cañada tiene infiltraciones iniciales semejantes, en torno a 25 mm/h y se estabiliza a 11 mm/h. Los suelos de los cultivos abandonados muestran infiltraciones mayores, que se inician de media en torno a 30 mm/h y se estabilizan en 17 mm/h. Por último, los viñedos en activo tienen unas tasas de infiltración significativamente mayores, que son sobre todo evidentes en los primeros minutos del proceso y que también dan lugar a una infiltración estabilizada mayor, de 35 mm/h. La sortividad se define como la medida de la habilidad que tiene el suelo de adsorber agua durante el proceso de humedecimiento; es decir, caracteriza los primeros estadios del proceso de infiltración, y en consecuencia representa el efecto del potencial mátrico en la misma (Regalado *et al.*, 2003). Los datos de sortividad del experimento llevado a cabo en este estudio, se materializa en la pendiente de la curva de infiltración acumulada en el primer minuto del ensayo. Sus valores mayores son de 71 mm/h en suelos de viñedos, que contrastan con sortividades menores de 29 (cultivo abandonado), 22 (cañada) y 15 (bosquete de encinas) mm/h.

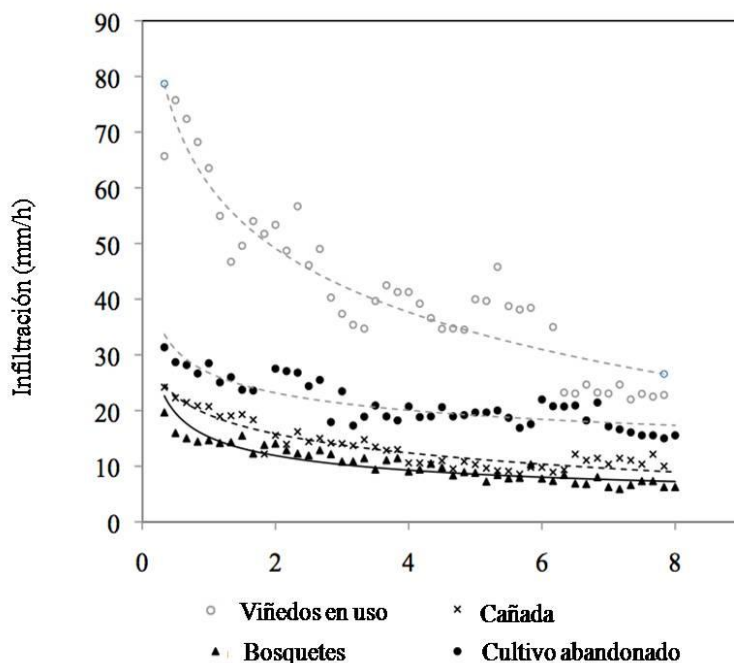


Figura 10.a. Infiltración media en los diferentes usos del suelo. **b.** Imagen del ensayo en campo de la infiltración.

Humedad

Los datos de humedad vienen expresados como la humedad gravimétrica a saturación. Esta es la humedad que el suelo tamizado a 2 mm es capaz de retener tras saturación completa, cuando tras sacarlo del recipiente deja de gotear durante 1 minuto. En la **Figura 11a** se muestra el análisis estadístico que agrupa significativamente los resultados de la humedad gravimétrica en dos grupos. El primer grupo está configurado por los suelos recogidos en los bosquetes de encinas y en la Cañada, con valores comprendidos entre un 50 y 60% en humedad. En el segundo grupo se encuentran los valores de humedad gravimétrica de los cultivos en uso y los abandonados, con una humedad gravimétrica media comprendida entre el 40 y el 45%.

En la **Figura 11b** se muestran los patrones de disminución en el contenido de agua de cada uno de los tipos de suelo a lo largo del tiempo. Esto es, la velocidad a la que el suelo drena desde su nivel de capacidad de campo hasta su secado definitivo realizado en la estufa. Como se observa en la gráfica todos los sustratos pierden el grueso de su contenido hídrico en, aproximadamente, un día. La evolución de esta pérdida no es igual en los cuatro casos, sino que tanto en los suelos de los viñedos en uso y de los cultivos abandonados, el cambio es mucho más drástico en comparación con la pérdida de agua registrada por suelos de bosque y cañada, donde la pérdida final de agua es más gradual, indicando una mayor capacidad de retención de agua.

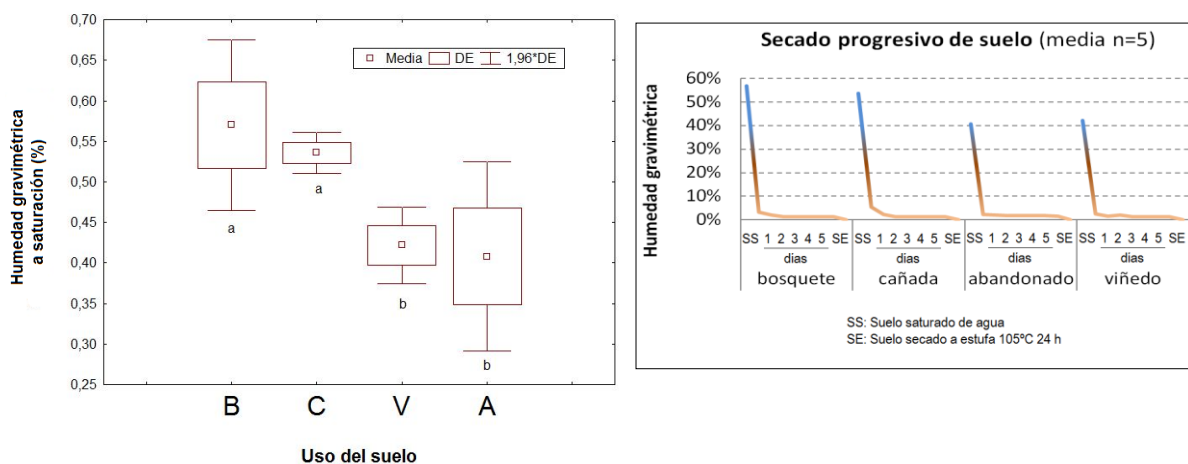


Figura 11. a. Media y desviación estándar de la humedad gravimétrica a saturación en los cuatro sustratos estudiados. Grupos establecidos con diferencias significativas $< 0,05$ test de Kolmogorov-Smirnov. **b.** Secado progresivo del suelo a lo largo del tiempo desde el nivel de capacidad de campo hasta su secado definitivo en estufa.

Densidad aparente

La densidad aparente es significativamente distinta en las muestras provenientes de los cuatro sustratos bajo análisis. Este parámetro, reflejo del grado de compactación de los suelos, presenta valores medios muy superiores en los cultivos abandonados que en el resto de usos del terreno. Estos valores están seguidos por los procedentes de los suelos de la cañada. Posteriormente, los bosquetes y, finalmente, encontramos los más bajos niveles de densidad aparente en los viñedos. Es posible constatar diferencias significativas entre los valores de la densidad aparente de las parcelas, por un lado los bosquetes de encinas y viñedos que muestran los valores más bajos (aunque por razones muy distintas), respecto a los de la vía pecuaria y, a su vez también de aquellos provenientes de los cultivos abandonados.

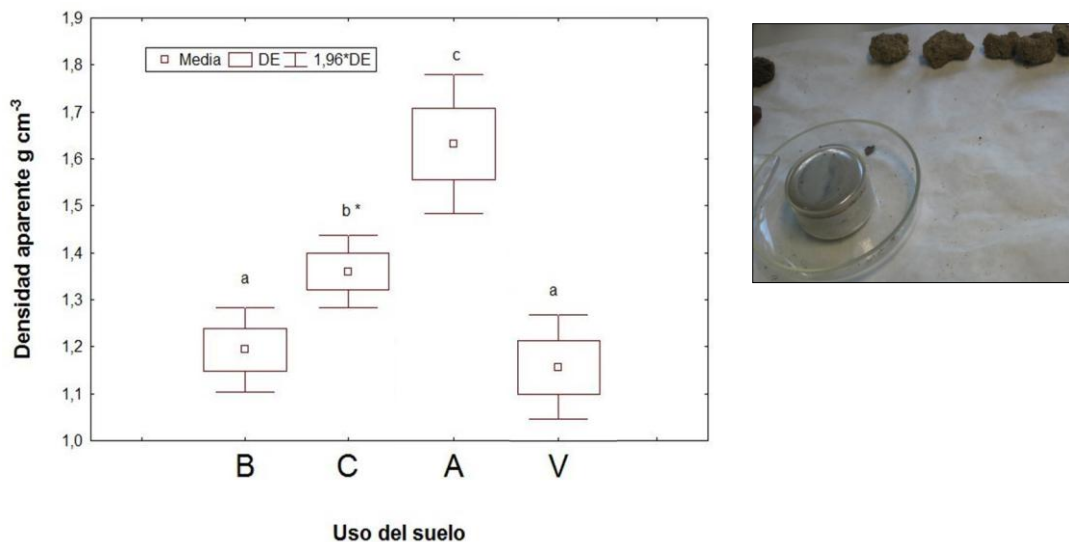


Figura 12. a. Media y desviación estándar de la densidad aparente de las muestras superficiales del suelo en distintos usos. Grupos establecidos con dif. significativas < 0,05 test de Kolmogorov-Smirnov. * dif. significativas < 0,01. **b.** Muestra de agregados edáficos sobre los que se calculó la densidad aparente sumergiéndolos en mercurio.

Estabilidad de agregados

Se encuentran diferencias significativas en la estabilidad estructural de los agregados edáficos del horizonte superficial. Los agregados de los viñedos en activo se deshacen al dejar caer una media de 4 gotas sobre ellos, la situación mejora en los viñedos abandonados, pues se necesitan hasta 9 gotas para alcanzar la total destrucción del agregado, aunque presentando una alta variabilidad. Sin embargo, los agregados del suelo de la cañada son más resistentes,

pues pueden recibir hasta 14 gotas sin deshacerse, aunque no tanto como del suelo del bosque, que necesitan 33 gotas para su total desintegración (**Figura 13**).

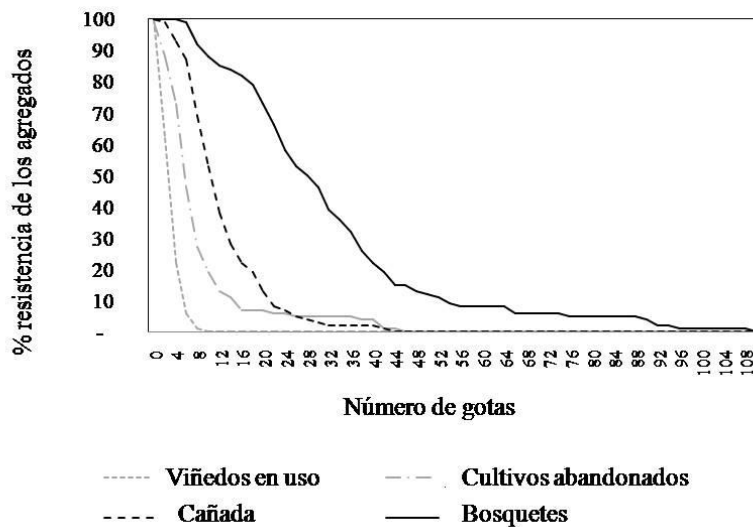


Figura 13. Distribución porcentual de la supervivencia de los agregados de cada uso de suelo conforme va aumentando el número de gotas lanzadas sobre el agregado.

Materia orgánica

El contenido de materia orgánica es bajo, oscilando entre 0,4 y 0,5 % en los viñedos, y con un aumento significativo en los suelos de cañada, con un contenido de 0,9%, y los bosquetes, donde supera el 1%. Es posible establecer dos grupos; uno de ellos, compuesto por las muestras provenientes de viñedos en uso y los cultivos abandonados, que se diferencia significativamente de otro grupo compuesto por los valores de contenido obtenidos para las muestras de la cañada y los bosquetes de encinas.

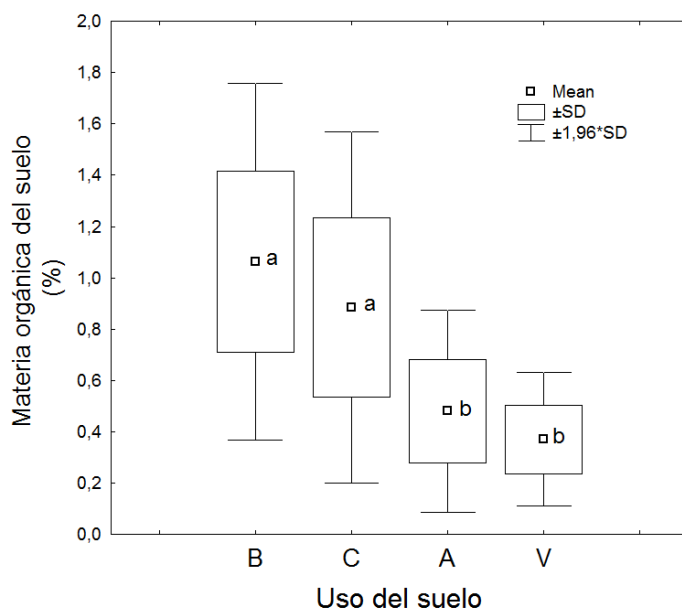


Figura 14. Media y desviación estándar para el contenido en materia orgánica. Grupos establecidos con dif. Significativas < 0,05 test de Kolmogorov- Smirnov.

A partir de los datos de materia orgánica y, a través de un cálculo aritmético simple, es posible calcular la tasa de acumulación de carbono por unidad de volumen y tiempo que estos suelos presentan. Ya que sólo disponemos de la información de la edad de los bosquetes y los cultivos abandonados, son de ellos de los que podemos cuantificar su ratio anual de acumulación: los bosquetes de encinas retienen 15 ± 5 g C/m²año, mientras que los abandonados en los primeros estadios de abandono llegan a acumular 75 ± 25 g C/m²año.

Parámetros biológicos

El conteo de las unidades formadoras de colonias de hongos y bacterias, y su posterior análisis estadístico, proporciona los resultados resumidos en la **tabla 7**:

Tabla 7. Resumen de los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para las unidades formadoras de colonias de hongos (K (Valor observado): 14,52; GDL= 3; p-valor = 0,002) y de bacterias (K (Valor observado): 11,49; GDL= 3; p-valor = 0,009)

Uso del suelo	UFC Hongos/g suelo			UFC Bacterias/g suelo		
	n	Media	Desviación típica	n	Media	Desviación típica
Bosquete de encinas	5	45.577	29.099	5	1.698.116	1.377.746
Cañada	5	28.256	32.029	5	3.906.169	2.756.551
Cultivo abandonado	5	17.683	40.034	5	1.339.081	1.426.274
Viñedo	5	4.451	4.233	5	2.043.394	1.621.522

Unidades de colonias formadoras de hongos

Es posible constatar la existencia de un gradiente cuantitativo en referencia a la media de unidades formadoras de colonias de hongos, encontrándose con mayor número de éstas en las muestra proveniente de los bosquetes (45.577UFC/ g suelo), posteriormente en la vía pecuaria (28.257 UFC/ g suelo), los cultivos abandonados (17.683 UFC/ g suelo) y, finalmente, los viñedos en uso (4.452 UFC/ g suelo).

Las comparaciones múltiples usando el método de Dunn permiten agrupar los resultados en dos bloques bien diferenciados (**Tabla 8 y Fig. 15a**). El primero de ellos (grupo A) está conformado por los resultados inferiores en contenido de unidades formadoras de hongos de los viñedos y los cultivos abandonados. En el segundo grupo (grupo B), con nivel mayor de

colonias de hongos están los resultados de los bosquetes; la Cañada también se incluye en este grupo.

Tabla 8. Comparaciones múltiples por pares mediante el procedimiento de Dunn, donde se establecen grupos por cercanía.

Variable	Uso del suelo	n	Media de los rangos	Grupos
UFC/gsuelo Hongos	Viñedo	5	13,20	A
	Cultivo abandonado	5	15,90	A
	Cañada	5	21,30	A B
	Bosquete de encinas	5	31,60	B

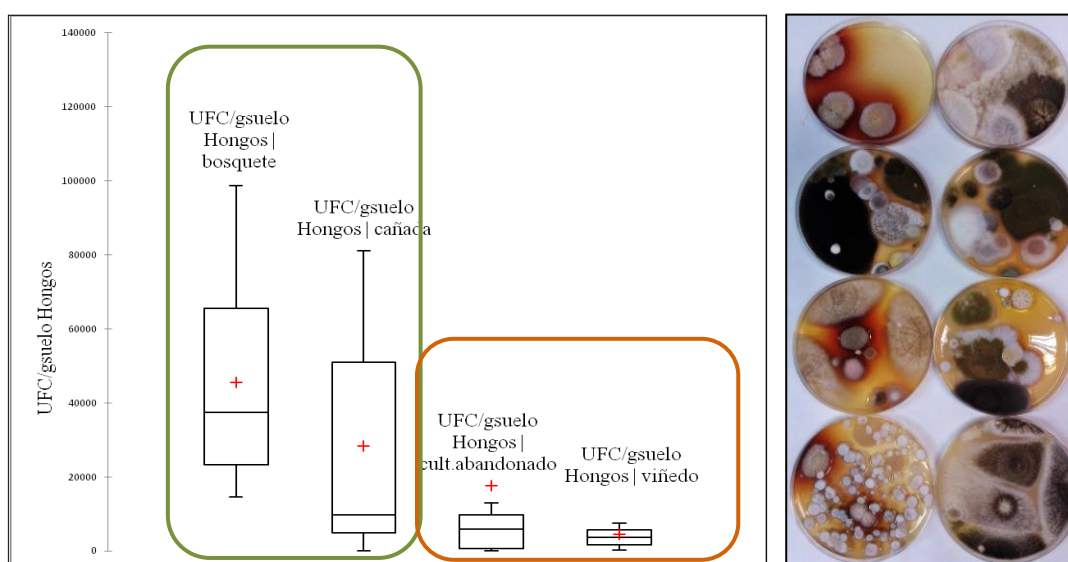


Figura 15. a. Resultados gráficos de la prueba bilateral donde se reflejan los grupos A (en naranja) y B (en verde). **b.** Imagen de las colonias de hongos crecidas tras 4 días de la siembra.

Unidades formadoras de colonias de bacterias

La Cañada muestra significativamente la mayor concentración de UFC/g suelo (3.906.169 UFC/g suelo), seguida por los suelos provenientes de los viñedos (2.043.394 UFC/g suelo) y los bosquetes (1.698.116 UFC/g suelo). Finalmente, y con una media muy por debajo de la observada, están los muestreados en cultivos abandonados (1.339.082 UFC/g suelo).

Como para los hongos, se realizó una prueba bilateral de Dunn que permite agrupar los resultados en dos grupos A y B, cuyos resultados se muestran la **Tabla 8** y la **Figura 16a**.

Tabla 9. Comparaciones múltiples por pares mediante el procedimiento de Dunn, donde se establecen grupos por cercanía.

Variable	Uso del suelo	n	Media de los rangos	Grupos
UFC/gsuelo Bacterias	Cultivo abandonado	5	12,70	A
	Bosquete de encinas	5	17,90	A B
	Viñedo	5	21,50	A B
	Cañada	5	29,90	B

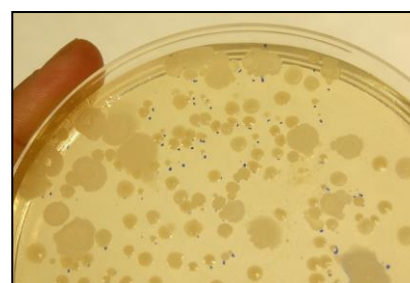
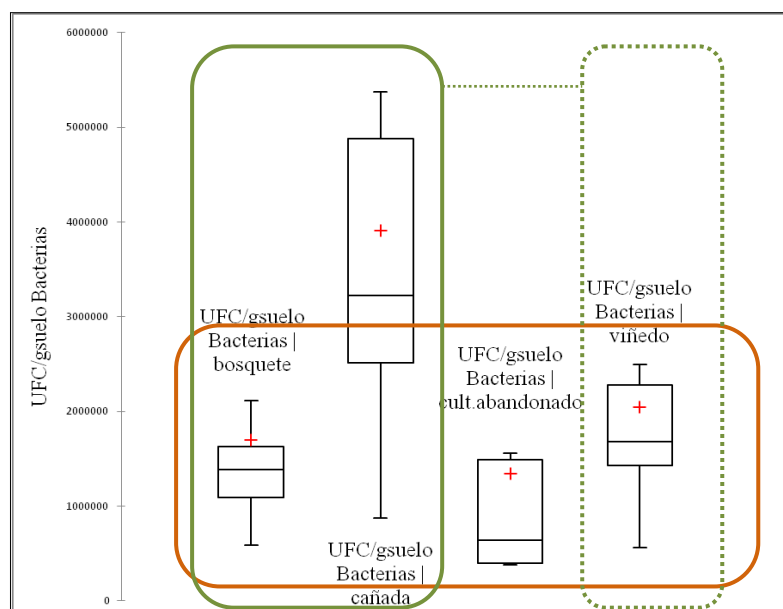


Figura 16. a. Resultados gráficos de la prueba bilateral donde se reflejan los grupos A (en naranja) y B (en verde). **b.** Imagen de las colonias de bacterias crecidas tras 4 días de la siembra.

Análisis de Componentes Principales (ACP)

El análisis de ACP dió un resultado significativo (Test de Bartlett chi-cuadrado = 110,948; p-valor < 0,0001). Los cuatro componentes elegidos para su interpretación fueron aquellos cuyo valor propio era mayor que 1 (criterio de Kaiser). En la **Tabla 10**, se recogen los valores de los componentes principales.

El primer componente recoge un 46% de la variabilidad; un 16% es recogido por el segundo componente, casi un 14% por el tercer componente y, también, cercano al 12% de la variabilidad del modelo es explicada por el cuarto componente. En conjunto, estas variables configuran un modelo que asume un 88% de la variabilidad total. En la **Tabla 10** se detalla la

porción de la variabilidad que, dentro de cada uno de los cuatro ejes principales, aporta cada una de las variables introducidas en el análisis.

Tabla 10. Resultados del ACP. Carga factorial de los parámetros edafológicos analizados, sólo se muestran las F con valor propio >1. Valores en negrita son aquellos con cosenos² más elevados.

	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
M.O %	0,768	0,221	-0,521	0,087
UFC/gsuelo Bacterias	0,148	-0,461	-0,093	0,834
UFC/gsuelo Hongos	0,632	-0,203	0,580	0,236
pH H2O	-0,886	-0,024	-0,183	0,083
pH KCl	-0,886	-0,250	-0,299	0,088
conductividad	-0,215	0,853	-0,271	0,277
Hum g a CC	0,755	-0,023	-0,461	0,214
Densidad aparente	-0,396	0,570	0,526	0,418
Estabilidad	0,894	0,236	0,132	-0,139
Valor propio	4,156	1,474	1,320	1,091
Variabilidad (%)	46,179	16,381	14,665	12,118
% acumulado	46,179	62,560	77,225	89,343

Por último, se realizó un gráfico donde se distribuyen espacialmente, a lo largo de los ejes del componente 1 y 2, tanto los valores de las variables fisicoquímicas y microbiológicas incluidas en el análisis, como las cuatro tipologías del uso del suelo sometidas al análisis. Como se puede comprobar en la **Figura 17**, las diferentes muestras provenientes de los mismos usos del suelo se agrupan, situándose próximas entre sí. Se ha representado en color gris los centroides (coordenadas promedio) de cada grupo de parcelas agrupadas según su uso.

El factor 1 está definido por la estabilidad de los agregados, el contenido en materia orgánica, la humedad gravimétrica y la presencia de hongos en el polo positivo. Las parcelas con coordenadas más elevadas en el polo positivo de este factor son los bosquetes y dos de cañada con valores intermedios. El polo negativo está definido por los valores más altos del pH; las parcelas que tienen coordenadas más negativas son de viñedo y abandonos, es decir las agrícolas.

El factor 2 se define en su polo positivo por la conductividad (contenido salino) y la densidad aparente (compactación), siendo las parcelas abandonadas las que mayores valores de sus coordenadas presentan en esta polaridad. Opuestas a ellas están las parcelas de viñedo.

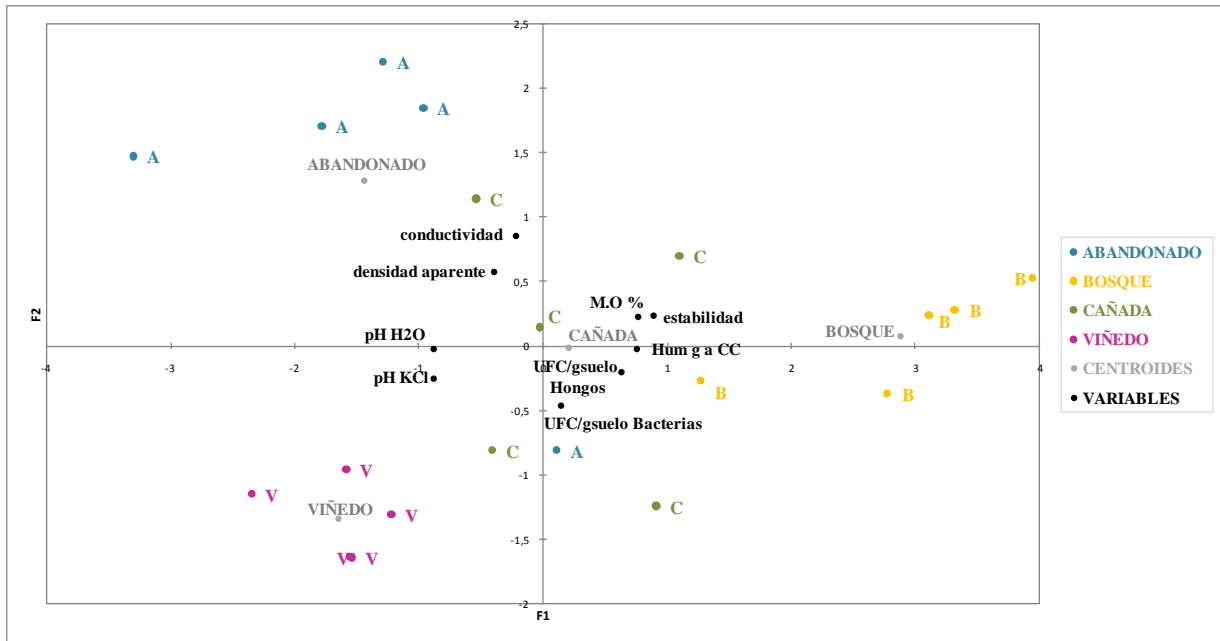


Figura 17. Representación gráfica del análisis de componentes principales

Es de resaltar la ubicación de las parcelas de Cañada en estas dimensiones: se encuentran alrededor del origen de coordenadas. No en vano el centroide de este grupo se sitúa muy cerca de esta posición. Esto se explica porque ninguna de las parcelas de cañada presenta coordenadas extremas en las variables analizadas, situándose en valores intermedios entre el bosque y las parcelas de uso agrícolas en el eje 1 y entre las parcelas laboreadas y las abandonadas en el eje 2.

Discusión

Este trabajo ha permitido valorar la influencia que distintos usos del territorio han tenido en la conservación de ciertas funciones centrales que desempeña el suelo de los ecosistemas. Entre estas funciones destacan la conservación materia orgánica y nutrientes (Valentini et al., 2000; Lal, 2003), el mantenimiento de la biodiversidad (Tugel and Lewandowski, 1999) y la capacidad de regulación hídrica (De Groot *et al.*, 2002).

Con el fin de comprender la magnitud y sentido de estos cambios es necesario tener en cuenta que, en el caso de tener un sistema sin actividad humana, la zona de estudio estaría ocupada

por un bosque mediterráneo de clima semiárido dominado por la encina (*Quercus ilex rotundifolia*), bajo el cual, el suelo puede llegar a almacenar hasta un 25% de materia orgánica (Castán y Serrano, 2004), aunque los valores más frecuentes en este tipo de bosque se sitúan en torno al 6% (Lavee *et al.*, 1995).

Por otra parte, la función de regulación hídrica es una de las más importantes atribuidas al suelo y a los bosques (Biro *et al.*, 2011) y en nuestro entorno lo es especialmente debido a la importancia que puede tener el hecho de que, en un clima semiárido, los suelos sean capaces de absorber, almacenar y filtrar un recurso escaso (Thivet and Blinda, 2011). Los bosques maduros conservados de encinas prácticamente no producen escorrentía, se han citado valores en la bibliografía entre 0.3% (Bosch *et al.*, 2010) y 5% (Zavala *et al.*, 2010) incluso cuando están instalados en fuertes pendientes, por lo cual su capacidad de retención es máxima. Estrechamente relacionada con el contenido de materia orgánica y la capacidad de regulación hídrica, está el mantenimiento de la biodiversidad edáfica. Se estima que, en un gramo de suelo, hay entre 1 y 1000 millones de microorganismos (Tugel and Lewandowski, 1999). Esta comunidad microbiana tiene un efecto patente en cuanto al mantenimiento de la estructura edáfica; diversos estudios (Eekeren *et al.*, 2010; Chotte, 2005; Van der Putten *et al.*, 2004) evidencian que los polisacáridos producidos por las bacterias anexionan los agregados del suelo y que las hifas de los hongos envuelven los microagregados formando macroagregados, dotando al suelo de unas características óptimas que favorecen la aireación, la capacidad de drenaje y de retención de agua a través de su influencia en la estructura y la porosidad del suelo (Magdoff and van Es, 2000).

Las masas de encinas situadas en el área de estudio, pueden considerarse como bosquetes jóvenes (Gea *et al.*, 2007) crecidos en terrenos agrícolas abandonados hace, aproximadamente, 50 años. Su contenido en materia orgánica es el más alto de entre los diferentes usos bajo análisis, en torno a un 1%, aunque como puede observarse es un valor bajo si se comparase con suelos de encinares maduros. El análisis textural del horizonte superficial permite afirmar que estos suelos, en proceso de lenta recuperación de sus funciones, tienden hacia la configuración de una clase textural arenosa franca, cuyos macroagregados edáficos presentan en este estudio la máxima estabilidad estructural en comparación con el resto de usos de suelo considerados. Este resultado está relacionado con los también mayores niveles de materia orgánica encontrados; en este sentido, estos suelos son capaces de acumular carbono orgánico en el horizonte Ap a una tasa media de 15 ± 5 g

C/m²año, considerando que el periodo de sucesión espontánea hacia encinar joven ha sido de 50 años, aunque este valor podría variar en función de la edad del bosque. Las tasas de secuestro de carbono son lógicamente muy variables dependiendo del ecosistema que se trate y su punto de partida. En revisiones bibliográficas, encontramos un rango de valores medios entre 10 y 60 g C/m²año (Follet, 2001) y casi siempre inferiores a los 100 g C/m²año (Post and Kwon, 2000). En el análisis textural comparado con la calicata del suelo dominante se observa que el uso de bosque ha mantenido todos los horizontes edáficos del su perfil. El contenido de microorganismos suele estar correlacionado con el contenido en materia orgánica y con una buena estabilidad estructural del suelo (Eekeren *et al.*, 2010) y efectivamente los suelos de bosque presentan los mayores valores de unidades formadoras de colonias de hongos; en cuanto a las bacterias, su número es intermedio entre los otros usos y la variabilidad de los datos impide encontrar diferencias significativas entre ellos, por lo que se abre una vía de investigación en la que merecería la pena profundizar en el futuro. La tasa de infiltración encontrada en el suelo del bosque es de 7 mm/h que puede considerarse moderada (Bear, 1972), y presenta la mayor capacidad de retención de agua por lo cual mantiene asegurada la capacidad de proveer la función de regulación hídrica. Los suelos de los bosques han arrojado valores altos en el contenido de microorganismos, destaca el mayor número de UFC/g suelo en hongos que están más vinculados a la humedad gravimétrica del sustrato y proliferan mejor en lugares más ácidos, que efectivamente se ajustan a los valores encontrados en este uso.

Por su parte, los suelos del tramo de la Cañada Real Conquense estudiados presentan niveles relativamente altos de contenido en materia orgánica (0,9%), pues no se diferencian significativamente de los suelos bajo bosque. Consideramos que esto es debido a los aportes orgánicos de los excrementos de los animales que pasan de forma regular por la cañada y al hecho de que mantiene una cubierta vegetal espontánea de forma constante a lo largo de todo el año, dada la elevada correlación entre el contenido de materia orgánica y los nutrientes del suelo (Bot and Benites, 2005), podemos afirmar que esta función del ecosistema de regulación de nutrientes no se ha visto perjudicada por este uso. En este estudio, no podemos calcular la tasa de secuestro de carbono para la cañada, pues no se conoce el tiempo de uso, sin embargo, sí se puede observar que su contenido en materia orgánica duplica al contenido presente en los viñedos labrados en activo.

En cuanto a la densidad aparente del suelo en la cañada, es significativamente mayor que la del bosque y el viñedo, aunque no es tan alta como la de las parcelas abandonadas; se atribuye el valor obtenido a la compactación debida al paso del ganado. Sin embargo, es un efecto que parece compensarse con el aporte de materia orgánica, pues la estabilidad de los agregados es significativamente mayor en este uso que en cualquiera de los viñedos. De forma análoga, también mantiene una mayor capacidad de almacenamiento de agua a capacidad de campo y, sin embargo, presenta menores niveles de infiltración que los encontrados en viñedos labrados, lo que también ha de estar relacionado con su compactación, pues su espacio poroso es menor.

Al igual que los suelos del bosque de encinas, el suelo de cañada tiene un alto contenido en UFC de hongos y bacterias. Las bacterias son predominantes en estos suelos y su proliferación se atribuye a la aportación de materia orgánica y nutrientes en un estado más fácilmente asimilable pues están contenidos en los excrementos digeridos por los herbívoros que transitan la cañada (Relling y Matioli, 2003).

El tercero de los usos del suelo estudiados representa al abandono de la actividad agrícola hace, aproximadamente, 4 años. En este corto periodo de tiempo, apenas se detectan diferencias en los cambios de las funciones del suelo respecto a aquellas desempeñadas por cultivos en activo, aunque sí se ha observado un aumento de la densidad aparente que sí es significativamente mayor que en los suelos labrados, asociado al propio cese del laboreo. Este aumento evidencia la ausencia de estructura estable de los suelos que han sido sometidos a laboreo, la porosidad que presentan es únicamente resultado de la continuada alteración mecánica de su estructura. Estos suelos, empobrecidos en materia orgánica y en microorganismos, no se organizan formando una estructura adecuada y en el momento en que dejan de ser labrados se compactan con mucha facilidad, posiblemente, por el pisoteo. Esto se manifiesta, además, en una menor capacidad de retención de agua, detectada con claridad en este estudio. En un trabajo de comparación de suelos labrados y no labrados, utilizando 67 parcelas de ensayos de larga duración, West y Post (2002) determinaron que la tasa de secuestro de carbono cuando se abandonaba el laboreo era $57 \pm 14 \text{ g C/ m}^2\text{año}$. En nuestro estudio, los suelos abandonados tienen una tasa de secuestro de carbono de $75 \pm 25 \text{ g C/ m}^2\text{año}$, al menos, en los primeros años de abandono. Quizá esta tasa de secuestro de carbono tan elevada respecto a la recabada bibliográficamente, se deba a la rápida colonización del terreno abandonado por especies pioneras, y es previsible que la tasa de

fijación de materia orgánica se estabilice y ralentice con el paso de los años y el discurrir de la sucesión ecológica (Pineda *et al.*, 1984). En todo caso, en el entorno mediterráneo el manejo del suelo idóneo ha de ser tal que aumente el contenido de materia orgánica y contribuya así al secuestro de carbono de la atmósfera (Thomas, 2008).

Las características texturales del horizonte edáfico superficial de parcelas de viñedo abandonado permiten clasificarlo como franco-arenoso. Éste no se corresponde con el horizonte superficial del suelo dominante descrito en la calicata, sino con el horizonte Bt₁, subyacente. No se dispone de datos de antigüedad del uso anterior del suelo y sería necesario realizar numerosas calicatas para ajustar la profundidad del horizonte superficial, lo cual está fuera del alcance de este trabajo, no obstante, con los datos disponibles es evidente que se ha producido un fenómeno de erosión y pérdida del horizonte superficial, con una tasa de varios milímetros al año, que puede ser considerada como insostenible (Verheijen *et al.*, 2009). Es necesario destacar aquí que el horizonte superficial, ausente también en los viñedos en uso, sí se mantiene tanto en los suelos de bosquetes jóvenes como de la cañada. Queda patente que los niveles de contenido microbiológico no se recuperan respecto a su estado de degradación en el uso agrícola intensivo anterior y que el abandono agrícola no supone, al menos en los primeros años de este proceso, ninguna mejora en cuanto a la capacidad edáfica de mantener las funciones de regulación intrínsecas a un suelo vivo. Los valores de los parámetros indicativos de esta función se mantienen muy próximos a los de los cultivos en activo.

Por último es el viñedo, el uso de suelo identificado como el más intensivo, sometido a laboreo en la actualidad, el que tiene la mayor tasa de infiltración de entre los usos estudiados, debido a la mayor porosidad producida por el laboreo continuado. Sin embargo, es un valor que se mantiene mientras se mantiene esta actividad, pues se manifiesta que con el abandono, la infiltración se reduce a más de la mitad. Además, su capacidad de retención de agua es la menor de todos los usos y, simultáneamente, el contenido de materia orgánica es el mínimo, debido precisamente al pequeño tamaño de partículas y la fuerte aireación del suelo que expone a la materia orgánica a su mineralización rápida (Vigil and Sparks, 2003). El estado de desagregación de este suelo se manifiesta claramente ya que presenta la menor estabilidad de agregados. Nos encontramos ante un ecosistema semiárido degradado donde la tasa de asimilación de recursos (carbono, nutrientes o agua) está reducida, y como consecuencia sus funciones en el ecosistema están evidentemente mermadas (Ludwig *et al.*, 2000). La función

del mantenimiento de la biodiversidad de microorganismos edáficos es controvertida en este uso, por un lado la menor abundancia de hongos sí parece corroborar el estado de degradación física de estos suelos, sin embargo, la abundancia de bacterias no es la menor de las encontradas. Como se ha comentado anteriormente, la variabilidad de estos parámetros es muy grande y no hay diferencias significativas, únicamente se distinguiría de los suelos de la cañada. El simple estudio de la abundancia de colonias de bacterias no aporta información suficiente en este caso, y sería interesante determinar parámetros de dominancia o de diversidad de estas bacterias para saber si pueden asociarse a la degradación del suelo. En todo caso, con los datos físico-químicos y de abundancia de hongos disponibles sí se puede corroborar que la perturbación continua e intensa del suelo de los viñedos ha eliminado su potencialidad como suministrador de servicios de regulación de los ecosistemas.

Centrándonos en las funciones edáficas de la Cañada Real Conquense, objetivo principal de este estudio, podemos afirmar que no muestran una disminución en comparación con las de los bosquetes de encinas relictos, y por tanto, constituyen dos elementos potenciales en la consiguiente provisión de servicios de los ecosistemas tan importantes como la formación del suelo y el control de la erosión a escala local, la protección frente a sequías, tormentas e inundaciones y el mantenimiento de la fertilidad del suelo con un efecto positivo en los servicios de abastecimientos tanto agrícolas como ganaderos (Martín López *et al.*, 2009; De Groot, 2002).

En tiempos de cambio global, y ante los escenarios de cambio climático que se prevén para el mediterráneo (Parmesan, 2006; Ayala-Cercedo, 2004; Sumner *et al.*, 2003; Cubasch *et al.*, 1996), la resiliencia de los agroecosistemas constituye una propiedad clave. La agricultura intensiva es una de las grandes fuentes de estrés y perturbaciones introducidas por la actividad humana en el sistema suelo (Brussaard, 1994), al priorizar la obtención de servicios de abastecimiento agro-alimentario con reflejo en el mercado, maximizando el laboreo mecánico y la aportación de fitosanitarios y fertilizantes inorgánicos. Esto se realiza a costa de la estructura del suelo y su contenido de materia orgánica y flora microbiana, lo que convierte a la agricultura en uno de los principales factores que afectan la resiliencia edáfica (Seybold *et al.*, 1999), definida como la capacidad del suelo para recuperar su integridad funcional y estructural después de una perturbación (Lal, 1994), así como su capacidad para resistir los cambios inducidos en el sistema tras esta perturbación (Lang, 1994). El descenso en la

capacidad inherente de los suelos de mantener sus funciones ecológicas de regulación es un síntoma inequívoco de degradación edáfica (Lal, 1993).

Examinando las cuatro subcategorías de funciones de regulación del ecosistema edáfico, - conservación de la estructura y características físico-químicas, mantenimiento de la materia orgánica y los nutrientes, capacidad de retención de agua y mantenimiento de biodiversidad- definidas al comienzo del estudio como ejes fundamentales de la investigación, se observan las siguientes situaciones:

Respecto a la función de mantenimiento de las propiedades físicas del sistema, los resultados constatan que, en el mosaico agrícola de la zona de estudio, y como consecuencia del prolongado laboreo, se ha degradado el horizonte orgánico superficial y se está trabajando ya con el horizonte subsuperficial. Algunos estudios (De Groot, 1992) cuantifican que la velocidad de la pérdida del horizonte superficial de suelo a escala global supera en, aproximadamente, de 6 a 8 veces el ratio natural de formación del suelo. En los usos intensivos analizados en este estudio se ha producido y se produce un proceso de intensa degradación de la estructura del suelo. La práctica eliminación de la cubierta vegetal lo deja fácilmente expuesto a la erosión. Una de las consecuencias de este fenómeno, inducido por la pérdida de la materia orgánica del suelo, es la emisión a la atmósfera de una cantidad de carbono aún no cuantificada (Lal, 2003).

La función de regulación de nutrientes vinculada al servicio de fertilidad del suelo, evaluada aquí a través del contenido en materia orgánica, se presenta con una distribución asimétrica en el agrosistema estudiado. Las consecuencias de las variaciones del contenido en materia orgánica varían con la escala espacial. A escala de parcela, el tipo de vegetación interactúa con la biota edáfica y las propiedades químicas proporcionando las variaciones, lo cual es influido decisivamente por el manejo del suelo (van Apeldoorn *et al.*, 2011). Además, es posible aplicar un marco teórico multiescalar (Kinzing *et al.*, 2006) que permite vincular el concepto de asimetría paisajística con la resiliencia de los agroecosistemas, entendida ésta como la capacidad subyacente del sistema de mantener en cierto estado sus funciones y los servicios de los ecosistemas que proporciona. Por lo que, la asimetría identificada en nuestra zona de estudio, controlada de forma determinante por el uso al que está sometido el sustrato, aporta al agroecosistema en su conjunto la capacidad para amortiguar perturbaciones, manteniendo su estructura y procesos. De esta forma, podemos afirmar que la presencia, dentro de la matriz territorial de usos intensivos, de parcelas con uso extensivo como la

cañada y los bosquetes de encinas, preserva la capacidad de la misma para mantener la regulación edáfica de nutrientes.

La regulación hídrica proporcionada por el sistema es entendida como capacidad edáfica de realizar las funciones de filtración, retención y almacenamiento de agua (De Groot *et al.*, 2002; Gómez-Baggethun y De Groot, 2002). En el presente estudio, tanto infiltración como retención están determinadas por la vegetación y el uso del suelo, lo que condiciona su grado de estructuración. Diferentes estudios que comparan la función de regulación hídrica en sistemas naturales y manejados, concluyen que son los primeros los que presentan un potencial mayor en el suministro de la función de retención y almacenamiento (Oyarzún *et al.*, 2005; Guo *et al.* 2001). En concordancia, la cañada, como aprovechamiento de carácter extensivo, presenta valores indicativos de la función de retención y almacenamiento muy superiores a los de los cultivos, tanto abandonados como activos. En ellos la velocidad de infiltración es muy alta, pero apenas si retienen nada de esa agua que percola por el perfil, muchas veces dando lugar al arrastre y lavado de nutrientes y otras sustancias. Estos usos han perdido su capacidad para proporcionar la función de regulación hídrica, lo que les convierte en sistemas mucho más vulnerables de cara a eventos climáticos extremos (como sequías o lluvias torrenciales) de lo que lo son los suelos de la Cañada Real y los bosquetes de encinas.

El sistema edáfico proporciona numerosos servicios de los ecosistemas y, parte de ellos, están mediados por la presencia y calidad de su flora microbiana (Van der Putten *et al.*, 2004). La presencia de niveles altos de unidades formadoras, tanto de hongos como de bacterias en el suelo de la cañada, pone de manifiesto la función de conservación de microorganismos integrantes de dicha flora. Este hecho tiene importantes consecuencias en el mantenimiento de las otras subcategorías de la función de regulación de suelos estudiadas en este trabajo, como la conservación de materia orgánica y nutrientes, la retención de agua y la estabilidad estructural (Eekerun *et al.*, 2010; Moonen and Bárberi, 2008).

Conclusiones

A tenor de los resultados obtenido podemos concluir que

- Existen diferencias significativas y cuantificables entre parámetros de carácter físico-químico, estructural y biológico de los diferentes usos que configuran el mosaico agrícola estudiado, considerados como indicadores de la funciones de regulación del sistema edáfico.

- Los bosquetes de encinas y la vía pecuaria presentan datos altos de contenido en materia orgánica, buena estructuración, elevados niveles de retención de agua en el perfil y una alta concentración de unidades formadoras de colonias de microorganismos (hongos en bosquetes y bacterias en cañada).
- Los suelos del tramo de la Cañada Real Conquense bajo análisis presentan niveles en las funciones de regulación estudiadas (de conservación de las características físico-químicas, la retención de agua, la regulación de nutrientes y la conservación de la diversidad microbiológica) que se aproximan a los que presentan los bosquetes de encinas seminaturales del entorno.
- En contra posición, los suelos cometidos, en el presente o en un pasado cercano, a laboreo continuo, presentan los valores de estos indicadores comprometidos. Son suelos que, debido al laboreo continuado, han perdido su horizonte superficial y, en la actualidad, ya se está trabajando en el horizonte Bt₁. Presentan alta tasa de infiltración hídrica, pero se encuentra mermada su capacidad para retener agua en su perfil. Su falta de estabilidad y bajo contenido en materia orgánica determina la baja capacidad de estos suelos para mantener la diversidad microbiológica edáfica.

Estos resultados indican que mantener una vía pecuaria en uso contribuye a la conservación de las funciones de regulación edáficas. Por ello, el presente estudio parece confirmar que la existencia de una vía pecuaria con uso ganadero activo es un elemento que añade resiliencia al mosaico paisajístico por el que discurre, al contribuir de forma significativa a la conservación de dichas funciones de regulación edáficas. Este hecho es especialmente importante en un entorno donde predomina notablemente los usos intensivos, especialmente el viñedo, cuyos suelos han visto gravemente deterioradas sus funciones de regulación en beneficio de una intensificación a corto plazo de la producción agrícola y cuya recuperación no es inmediata tras el abandono.

Bibliografía

- Abid M. and Lal R. Tillage and drainage impact on soil quality: II. Tensile strength of aggregates, moistures retention and water infiltration. *Soil and Tillage Research* 103: 364-372.
- Acuña O., Peña W., Serrano E., Pocasangre L., Rosales F., Delgado E., Trejos J. y Segura A. *La importancia de los microorganismos en la calidad y salud del suelo*. Memorias de la XVII Reunión Internacional ACORBAT (Santa Catalina, Brasil. 15- 20 Octubre de 2006).
- Allison LE, Moodie CD. 1965. Carbonate. In: *Methods of soil analysis: Part 2: Agronomy, Monograph*. (Editado por CA Black et al.) 1379-1400. American Society of Agronomy: Madison, WI.
- Ayala- Cercedo J. 2004. La realidad del cambio climático en España y sus principales impactos ecológicos y socioeconómicos. *Industria y minería*.
- Barea J. M., Azcón R. and Azcón-Aguilar C. Interactions Between Mycorrhizal Fungi and Bacteria to Improve Plant Nutrient Cycling and Soil Structure. En *Microorganism in Soils: Roles in Genesis and Functions*. (Editado por Buscot F and Varme A.) 195-212. Springer, Germany.
- Birot Y., Gracia C., Palahi M. 2011. *Water for forest and people in the Mediterranean Region*. *European Forest Institute*. (Editores: Birot Y., Gracia C., Palahi M). Joensuu, Finland.
- Black C.A. 1965. *Methods of soil analysis: Part I Physical and Mineralogical Properties*. (Editado por: American Society of Agronomy). Madison, Wisconsin, USA.
- Bear, J. 1972. *Dynamics of fluids in porous media*. (Editado por: Dover Publications). New York, USA.
- Bosch A.D., Antúnez M., Poch, R.M. 2010. *Runoff losses of dissolved carbon and nitrogen in mountain Mediterranean agro- and forest ecosystems*. 19th World Congress of Soil Science. Soil Solutions for a Changing World. Brisbane, Australia.
- Bot, A. & Benites J. 2005. The importance of soil organic matter. Key to drough-resistant soil and sustained food and production. (Edited by: Food and Agriculture Organization of the United Nations). 15-30. Rome, Italy.
- Bouyoucos, G. J. 1936. Directions for Making Mechanical Analysis of Soils by the Hydrometer Method. *Soil Science* 42(3).
- Brussard L. 1994. An appraisal of the Dutch Programme on Soil Ecology of Arable Farming Systems (1985–1992). *Agriculture, Ecosystems & Environment* 51: 1–2.
- Bunce, R.G.H., Perez Soba, M., Jongman, R.H.G. Gómez Sal, A., Herzog, F. and Austad, I. 2004. Transhumance and Biodiversity in European Mountains. 321 pp. Alterra. Wageningen
- Castán, J. L. y Serrano, C., 2004. La trashumancia en la España mediterránea. *CEDDAR*, Zaragoza, España.
- Chotte, J.L. 2005. Importance of Microorganism for Soil Aggregation. En *Microorganism in Soils: Roles in Genesis and Functions*. (Editado por Buscot F and Varme A.; Springer) 139- 153. Germany.

- Cubasch U, von Storch H, Waszkewitz J, Zorita E. 1996. Estimates of climate change in Southern Europe derived from dynamical climate model output. *Climate Research*.
- Day, P. R. 1965. Particle Fractionation and Particle-Size Analysis. En: *Methods of Soil Analysis* (Editado por: Black C. A. Part I. Soil Sci. Soc. Amer.
- De Groot, R.S., 1992. *Functions of Nature: Evaluation of Nature in Environmental Planning, Management and Decision Making*. Publisher: Wolters-Noordhoff. Groningen, Netherlands.
- De Groot, R.S., Van der Perk, J., Chiesura, A., Marguliew, S., 2000. Ecological functions and socio-economic values of critical natural capital as a measure for ecological integrity and environmental health. In: Crabbe, P., Holland, A., Ryszkowski, L., Westra, L. (Eds.), *Implementing Ecological Integrity: Restoring Regional and Global Environmental and Human Health*. NATO-Science Series, IV. Earth and Environmental Sciences, vol. 1. Kluwer Academic. Publishers, Dordrecht/Boston/London, pp. 191–214.
- De Groot R. S., Wilson M. A., Boumans R.M.J. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41: 393–408.
- Follett R.F., 2001. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. *Soil & Tillage Research*. 61: 77-92.
- Franzluebbbers, A.J. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research* 66: 95- 106.
- Gea G., Cañellas, I., Garriga G., y Montero G. 2007. Modelos dinámicos dependientes e independientes de la edad: crecimiento en diámetro de *Quercus ilex* en dehesas. *Cuaderno de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 23: 175-180.
- González Parra J. y Candás Villar M. A. 2004. Materia orgánica de suelos bajo encinas. Mineralización de carbono y nitrógeno. *Invest Agrar: Sist Recur For Fuera de serie*, 75-83.
- Gómez Sal, A., Lorente, I. 2004. The present status and ecological consequences of transhumance in Spain, in: *Transhumance and Biodiversity in European Mountains*. Bunce, R.G.H. et al. (eds). Pp. 233-248.
- Guo Z., Xiao X., Gan Y. and Zheng Y. 2001. Ecosystem functions, services and their values – a case study in Xingshan County of China. *Ecological Economics* 38: 141–154 143
- Hawsad N. W., Liube B., Boast C. W., Rao P. S. C., Klavivkob E. J. and Franzmeierb D. P. 2004. Spatial Variability and Measurement Scale of Infiltration Rate on an Agricultural Landscape. *Soil Sciece Society of America* 68: 1818- 1826.
- Hein, L., van Koopen, K., De Groot, R.S., Van Ierland, E.C. 2006. Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics* 57: 209-228.
- Herzog, F., Bunce, R.G.H., Pérez-Soba, M., Jongman, R.H.G., Gómez-Sal, A., and Austad, I. 2005. Policy options to support transhumance and biodiversity in European mountains. *Mountain Research and Development*, 25, 82-84.
- Horwath, W., 2007. Carbon cycling and formation of soil organic matter. In: *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*. (Editado por Eldor A. Paul). 303- 4339. Elsevir, Oxford.

- Imeson A.C. & Vis, M. 1984. Assessing soil aggregate stability by water-drop impact and ultrasonic dispersion. *Geoderma* 34: 185-200.
- Jonston, J.R., 1945. An accurate method for determining volumen of soil clods. *Soil Science* 59:449-452.
- Juárez, M., Sánchez- Andreu, A. Sánchez- Sánchez A. 2006. *Química del suelo y medioambiente*. 293-314. (Editor por: Publicaciones de la Universidad de Alicante). Alicante, España.
- Kandeler E., Stemmer M. and Gerzabek M.H. 2005. Role of microorganism in Carbon Cycling in Soils. In *Microorganism in Soils: Roles in Genesis and Functions*. (Editado por Buscot F and Varme A.) 139- 153. Springer, Germany.
- Lang I. 1994. Soil resilience in stressed agroecosystems. In: Proc 15th World Cong. of Soil Science. 217- 220. Acapulco, México.
- Lal R. 1993. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, and sustainability. *Soil and Tillage Research* 27: 1-4.
- Lal R. 1994. Land use systems and soil resilience. In: *Soil Resilience and Sustainable Land Use* (Editors: Greenland D.J. and Szabulcs). Wallingford, Oxford, U.K.
- Lavee H., Kutiel, P., Segev M., Benyamini Y., 1995. Effect of surface roughness on runoff and erosion in a mediterranean ecosystem: the role of fire. *Geomorphology* 11, 227-234.
- Lorch H. J., Benckieser G. and Ottow J. C. G. 1995. Basic methods for counting microorganisms in soil and water. In: *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. (Editado por K. Alef and P. Nannipieri). 146-161. Academia Press. London, U.K.
- Loustau, J. Guemundsson, H. Thorgeirsson, A. Ibrom, K. Morgenstern, R. Clement, J. Moncrieff, L. Montagnani, S. Minerbi & P. G. Jarvis. 2000. Respiration as the main determinant of carbon balance in European forests. *Nature* 404, 861-865.
- Ludwig J.A., Wiens J.A., Tongway D.J. 2000. A scaling rule for landscape patches and how it applies to conserving soil resources in savannas. *Ecosystems* 3: 84-97.
- MA (Millennium Ecosystem Assessment). 2003. *Ecosystems and human well-being. A framework for assessment*. Island Press, Washington, D.C.
- Mangas-Navas, J.M. 2004. *Recovery of the national network of transhumance routes: Program of the Ministry of the Environment, in Transhumance and Biodiversity in European Mountains*. Report from the EU-FP5 project Transhumount (EVK2- CT-2002-80017). IALE Publication series no. 1, pp. 321, eds. R.G.H. Bunce, M.
- Manzano, P. & Malo, J.E. (2006). Extreme long-distance seed dispersal via sheep. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4: 244-248.
- Magdoff F. and van Es H. 2000. *Building Soils for Better Crops* (Editado por: Magdoff F. and van Es H). Beltsville, USA.
- Martín de Santa Olalla Mañas, F. J. 1994. *Desertificación en Castilla La Mancha. El Proyecto E.F.E.D.A*. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha. Albacete. España.
- Martín-López B., Gómez- Baggethum E. y Montes C. 2009. Un marco conceptual para la gestión de las interacciones naturaleza- sociedad en un mundo cambiante. *Cuides* 3

- Montes C. y Lomas, P. 2009. La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en España. *Revista Ambienta*.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: *Methods of Soil Analysis, Part 2*, 2nd ed., A.L. Page et al., Ed. Agronomy. 9:961-1010. Am. Soc. of Agron., Inc. Madison, WI.
- Nijensohn L y Pizarro OC. 1960. Un procedimiento para la determinación del calcáreo activo en suelos orgánicos. *Boletín Técnico 2*, Instituto Provincial Agropecuario. Madrid, Spain.
- Oteros-Rozas E., González J.A, Martín-López B., López C.A., & Montes C. 2010a. *Social-ecological resilience and transhumance landscapes in the Mediterranean: learning from the past, looking for a future*. Sin publicar.
- Oteros- Rozas, E., Martín-López B., González J. A., Montes C. *Un marco conceptual y metodológico integrados e interdisciplinar para la valoración de los servicios de los ecosistemas asociados a la trashumancia*. Memorias del II Congreso Nacional de Vías Pecuarias (Cáceres, 27-29 Octubre de 2010b).
- Oyarzún C., Laura Nahuelhual L. y Núñez D. 2005. Los servicios ecosistémicos del bosque templado lluvioso: producción de agua y su valoración económica. *Revista Ambiente y Desarrollo* 21(1): 88-95.
- Page, A. L.; Miller, R. H; Keeney, D. R. 1982. *Methods of soil analysis. Part 2 Chemical and microbiological properties*. 2nd ed. n° 9 series Agronomy II. American Society of Agronomy, ASA-SSA. Madison, USA
- Parmesan C. 2006. Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 37:637–69.
- Pinamonti, F., Stefanini, M., Dalpiaz, A. 1996. Soil management effects on nutritional status and grapevine performance. *Wein-Wissen* 51: 76–82.
- Plante A.F. and Parton W.J, 2007. The dynamics of soil organic matter and nutrient cycling. En: *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*. (Editado por Eldor A. Paul). 433-464. Elsevir, Oxford.
- Perroux, K.M., Whit, I. 1988. Designs for Disc Permeameters. *Soil Science Society of America Journal* 52:1205-1214
- Post W.M. and Kwon K.C. 2000. Soil Carbon Sequestration and Land-use Change: Processes and Potential. *Global Change Biology* 6: 317-328.
- Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R. 1997. Biological indicators of soil health: Synthesis. In: *Biological Indicators of Soil Health*. (Editado por Pankhurst C.E., Doube B.M & Gupta V.V.S.R) 419–435. CAB International. Wallingford, USA.
- Reeves, D. W. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tillage Research* 43: 1-2.
- Regalado C. M., Ritter A., Álvarez Benedí J.y. Muñoz Carpena R. 2003. Medida de la sortividad del suelo con el permeámetro de Philip- Dunne. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo* Vol. VI.
- Ruiz, M., Ruiz, J.P. 1986. Ecological History of Transhumance in Spain. *Biological Conservation* 37: 73-86.

- Rutgers M., van Wijnena M., Schoutena H.J., Muldera C., Kuitenb, AMP, Brussaard L., and Breure A.M. 2011. A method to assess ecosystem services developed from soil attributes with stakeholders and data of four arable farms. *Science of Total Environment*.
- Seybold C.A., Herrick J.E. and Brejda J.J. 1999. Soil Resilience: a fundamental component of soil quality. *Soil Science* 164, 4.
- Schulte, E.E., and B.G. Hopkins. 1996. *Estimation of organic matter by weight loss-on-ignition*. p. 21–31. In F.R. Magdoff et al. (ed.) *Soil organic matter: Analysis and interpretation*. SSSA Spec. Publ. 46. SSSA, Madison, WI.
- Smith J.L. and Collins H.P., 2009. Management of organism and their processes in soils. In: *Microorganism in Soils: Roles in Genesis and Functions*. (Editado por Buscot F and Varne A.) 471- 502. Springer, Germany.
- Sumner G. N., Romero R., Homar V., Ramis C., Alonso S. and Zorita E. 2003. An estimate of the effects of climate change on the rainfall of Mediterranean Spain by the late twenty first century. *Climate Dynamics* 20: 789–805.
- Thivet G. And Blinda M. 2011. Water and Forest Resources and People in the Mediterranean. In: *Water for forest and people in the Mediterranean Region*. (Editado por: Birot Y., Gracia C. and Palahi M.) 22-31. European Forest Institute. Joensuu. Finland.
- Thomas R.J., 2008. Opportunities to reduce the vulnerability of dryland farmers in Central and West Asia and North Africa to climate change. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 126: 36-45.
- Tugel, A.J. and A.M. Lewandowski 1999. *Soil Biology Primer*. (Editado por: Tugel, A.J. and A.M. Lewandowski) 50 NRCS Soil Quality Institute. Ames, Iowa.
- USDA-NRCS. 2001. *Guidelines for Soil Quality assessment in Conservation Planning*. USDA Soil Quality Institute Ed. 47 pp.
- Van der Putten W.H., Anderson J.M., Bardget R.D., Behan- Pelletier V., Bignell D. E., Brown V.K., Brussaard L., Hunt H.W., Ineson P., Jones T.H., Lavelle P., Paul E.A., St. John M., Wardle D.A., Wojtowicz T. & Wall D. H. 2004. The Sustainable Delivery Goods and Services Provided By Soil Biota. In: *Sustaining Biodiversity and Ecosystem Services in Soil and Sediments*. (Editado por: Wall, D.H.). 15- 45. Washington, USA.
- Van Apeldoorn D.F., Sonneveld M.P.W., Kok K. 2010. Landscape asymmetry of soil organic matter as a source of agro-ecosystem resilience. *Agriculture Ecosystems & Environment*.
- Van Eekeren, N., De Boer H., Hanegraaf M., Bokhorst J., Nierop D., Bloem J., Schouten T., De Goede R., Brussaard L. 2010. Ecosystem services in grassland associated with biotic and abiotic soil parameters. *Soil Biology & Biochemistry*.
- Varela F.G., Maturana H.R. & Uribe R. 1974. Autopoiesis: The organization of living systems, its characterization and a model. *Biosystems*. 5:187–196
- Verheijen, F.G.A., Jones, R.J.A., Rickson, R.J., Smith, C.J., 2009. Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth-Science. Rev.* 94, 23–38.
- Voroney R.P. 2007. The soil habitat. In: *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*. (Editado por Eldor A. Paul). 25- 49. Elsevir. Oxford, UK.

- Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An Examination of Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science*. 37:29-37.
- West, T.O., Post, W.M., 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Science Society of America Journal*. 66: 1930–1946.
- Zavala L.M., Jordán A., Bellifante N., Gil J., 2010. Relationship between rock fragment cover and soil hydrological response in a Mediterranean environment. *Soil Science and Plant Nutrition*. 56: 95-10

Anexo 1. Tabla resumen del número de muestras analizadas en cada uno de los análisis físico- químicos y biológicos llevado a cabo

Muestra	Análisis	pH	Conduc.	Granulometría	Dens. aparente	Estabilidad de agregados	M.O	Infiltración	Humedad	Contenido en bacterias	Contenido en hongos
Viñedo	V1	1	1	1	5	10	1	1+ réplica	1	1 + réplica	1 + réplica
	V2	1	1	1	5	10	1				
	V3	1	1	1	5	10	1	1+ réplica	1	1+ réplica	1+ réplica
	V4	1	1	1	5	10	1				
	V5	1	1	1	5	10	1	1+ réplica	1	1+ réplica	1+ réplica
	V6	1	1	1	5	10	1				
	V7	1	1	1	5	10	1	1+ réplica	1	1+ réplica	1+ réplica
	V8	1	1	1	5	10	1				
	V9	1	1	1	5	10	1	1+ réplica	1	1+ réplica	1+ réplica
	V10	1	1	1	5	10	1				
Total		10	10	10	50	100	10	5(+5réplicas)	5	5(+5réplicas)	5(+5réplicas)
Cultivo Abandonado	A1	1	1	1	5	10	1				
	A2	1	1	1	5	10	1	1 + réplica	1	1 + réplica	1 + réplica
	A3	1	1	1	5	10	1				
	A4	1	1	1	5	10	1	1 + réplica	1	1 + réplica	1 + réplica
	A5	1	1	1	5	10	1				
	A6	1	1	1	5	10	1	1 + réplica	1	1 + réplica	1 + réplica
	A7	1	1	1	5	10	1				
	A8	1	1	1	5	10	1	1 + réplica	1	1 + réplica	1 + réplica
	A9	1	1	1	5	10	1				
	A10	1	1	1	5	10	1	1 + réplica	1	1 + réplica	1 + réplica
Total		10	10	10	50	100	10	5(+5réplicas)	5	5(+5réplicas)	5(+5réplicas)
Cañada	C1	1	1	1	5	10	1	1 + réplica	1	1 + réplica	1 + réplica
	C2	1	1	1	5	10	1				
	C3	1	1	1	5	10	1	1 + réplica	1	1 + réplica	1 + réplica
	C4	1	1	1	5	10	1				

	C5	1	1	1	5	10	1	1 + réplica	1	1 + réplica	1 + réplica
	C6	1	1	1	5	10	1				
	C7	1	1	1	5	10	1	1 + réplica	1	1 + réplica	1 + réplica
	C8	1	1	1	5	10	1				
	C9	1	1	1	5	10	1	1 + réplica	1	1 + réplica	1 + réplica
	C10	1	1	1	5	10	1				
	Total	10	10	10	50	100	10	5(+5réplicas)	5	5(+5réplica s)	5(+5réplicas)
	B1	1	1	1	5	10	1				
	B2	1	1	1	5	10	1	1 + réplica	1	1 + réplica	1 + réplica
	B3	1	1	1	5	10	1				
	B4	1	1	1	5	10	1	1 + réplica	1	1 + réplica	1 + réplica
	B5	1	1	1	5	10	1				
Bosquete de encinas	B6	1	1	1	5	10	1	1 + réplica	1	1 + réplica	1 + réplica
	B7	1	1	1	5	10	1				
	B8	1	1	1	5	10	1	1 + réplica	1	1 + réplica	1 + réplica
	B9	1	1	1	5	10	1				
	B10	1	1	1	5	10	1	1 + réplica	1	1 + réplica	1 + réplica
	Total	10	10	10	50	100	10	5(+5réplicas)	5	5(+5réplica s)	5(+5réplicas)

Anexo II. Coordenadas de las observaciones del análisis de componentes principales realizado.

Observación	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
B	1,268	-0,276	0,823	-0,604
B	3,319	0,279	2,887	-0,951
B	3,942	0,523	-1,223	-0,436
B	2,776	-0,374	0,296	-0,397
B	3,111	0,235	-1,048	-0,935
C	-0,027	0,140	-0,328	-0,084
C	-0,408	-0,813	0,420	2,293
C	-0,538	1,141	-0,723	0,850
C	1,100	0,694	-2,219	1,413
C	0,913	-1,245	0,734	1,651
A	-1,286	2,204	-0,306	-0,004
A	0,112	-0,815	1,375	1,454
A	-0,962	1,846	-0,350	-0,214
A	-1,779	1,704	0,435	0,198
A	-3,297	1,471	1,723	-0,507
V	-1,538	-1,647	-0,510	-0,991
V	-1,584	-0,961	-1,065	-1,444
V	-1,555	-1,643	-0,524	0,550
V	-1,219	-1,308	-0,421	-0,882
V	-2,348	-1,153	0,022	-0,960