



UNIVERSIDAD
DE ALMERÍA

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

**FACULTAD DE CIENCIAS
EXPERIMENTALES**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO
DE CIENCIAS AMBIENTALES**



Autor: Francisco José Martín Belmonte

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”

Soil quality in *Ziziphus lotus* habitat. Effect of "islands of fertility"



**Director: Cecilio Oyonarte Gutiérrez
Codirector: María Trinidad Torres García**

Julio 2021

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS	5
3. MATERIALES Y MÉTODOS	5
3.1. Área de estudio.....	5
3.2. Diseño experimental.....	6
4. MUESTREO DE CAMPO	8
5. METODOLOGÍA DE LABORATORIO	8
5.1. Preparación de la muestra.....	8
5.2. Análisis físicos	9
5.2.1. <i>Cálculo textural</i>	9
5.2.2. <i>Retención de agua</i>	10
5.3. Análisis químicos	11
5.3.1. <i>PH y Conductividad eléctrica</i>	11
5.3.2. <i>Carbono orgánico total</i>	11
5.3.3. <i>Carbono orgánico soluble o extraíble</i>	11
5.3.4. <i>Nitrógeno total</i>	12
5.3.5. <i>Carbonatos totales</i>	12
5.3.6. <i>Fertilidad del suelo</i>	12
5.4. Análisis de variables biológicas	13
6. RESULTADOS	15
6.2. Variables físicas	17
6.2.1 <i>Propiedades hídricas</i>	18
6.3. Variables químicas	19
6.3.1. <i>pH y conductividad eléctrica</i>	19
6.3.2. <i>Propiedades de la fracción orgánica</i>	21
6.3.3. <i>Carbonatos</i>	24
6.3.4. <i>Propiedades relacionadas con la fertilidad del suelo</i>	25
6.4. Variables biológicas	27
7. DISCUSIÓN	30
8. CONCLUSIONES	34
9. BIBLIOGRAFÍA	35
10. ANEXOS	39
Anexo 1. Tabla descripción morfológica de los perfiles	39
Anexo 2. Fotografías de las calicatas	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización general del área de estudio (Guirado, 2015).	5
Figura 2. Esquema de diseño experimental del muestreo de los suelos donde se realizaron las calicatas bajo cubierta vegetal del Ziziphus (dentro), y áreas sin cubierta vegetal (fuera).	7
Figura 3. Esquema de diseño experimental de las variables biológicas. Entorno a cada azufaifo (4) se tomaron 3 muestras bajo cubierta vegetal y en 3 situaciones sin cubierta.	7
Figura 4. Calicata bajo Ziziphus.	8
Figura 5. (a) Tamiz para la separación de la fracción “tierra fina” (>2 mm), fracción “gruesa” (rechazo del tamiz). (b) motero de ágata para la molienda fina de la muestra.....	9
Figura 6. Disposición de las columnas de sedimentación para el análisis textural por el método de Robinson.	10
Figura 7. Conductímetro y pH metro junto con las muestras para la determinación de los parámetros de conductividad eléctrica y pH.	11
Figura 8. Cromatógrafo usado para la determinación de composición aniónica de la solución del suelo.....	12
Figura 9. Recipientes herméticos introducidos en la estufa a 25° C.	13
Figura 10. Kit de respiración del suelo Q-BOX SR1LP, basado en la determinación de CO ₂ mediante analizador de infrarrojos.	14
Figura 11. Jeringa inyectada para la medición de CO ₂ (a) y botes abiertos para su aireación y tras medición (b).....	15
Figura 12. Profundidad media de los perfiles suelo (cm) por tipo de cubierta.	16
Figura 13. Profundidad media (cms) por horizontes y por cubierta	17
Figura 14. Textura de los suelos (%) por cubierta y horizontes: a) arenas, b) limos, c) arcillas.	17
Figura 15. En rojo la textura de los suelos (%) muestreados según el método de la USDA (1999).	18
Figura 16. Retención de agua de los suelos por cubierta y horizontes: a) grado de marchitamiento (%), b) capacidad de campo (%), c) agua útil (mm/cm).	19
Figura 17. Reserva media de agua (mm) de los perfiles por cubiertas.	19
Figura 18. Valores de pH por cubierta y horizontes.	20
Figura 19. Conductividad eléctrica (dSm ²) por cubierta y horizontes.	20
Figura 20. Carbono orgánico total (g.kg ⁻¹) por cubierta y horizontes.....	21

Figura 21. Valores de carbono orgánico total ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) en muestras superficiales por cubierta, correspondientes al muestreo específico de variables biológicas.....	22
Figura 22. Datos de carbono soluble ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) por cubierta y horizontes.....	22
Figura 23. Contenido de carbono soluble (mg/kg) en muestras superficiales por cubierta, correspondientes al muestreo específico de variables biológicas.....	23
Figura 24. Nitrógeno total (g/kg) entre horizontes y cubierta.....	23
Figura 25. Relación carbono/nitrógeno (CN) por cubiertas y horizontes.	24
Figura 26. Porcentajes de carbonatos equivalentes (CO_3eq) por cubierta y horizontes.....	24
Figura 27. Valores medios y desviación estándar de nitritos (ppm) por cubierta y horizontes.	25
Figura 28. Distribución de valores de nitratos (ppm) por cubierta y horizontes.....	26
Figura 29. Valores de cloruros (ppm) por cubierta y horizontes.	26
Figura 30. Sulfatos (ppm) por cubierta y horizontes.....	27
Figura 31. Carbono en biomasa microbiana ($\text{ug } c_{\text{mic}}/\text{g}$ suelo) en muestras superficiales de suelo por cubierta.....	27
Figura 32. Flujos de CO_2 del suelo ($\text{ug } \text{CO}_2/\text{g}$ suelo h^{-1}) (respiración del suelo) en las muestras superficial por cubierta durante el experimento de incubación.....	28
Figura 33. Recta de regresión entre carbono orgánico total (COT) (g/kg) y el flujo de carbono (ugCO_2/g suelo h^{-1}) (respiración) tras 1 hora de humectar el suelo.	29
Figura 34. Recta de regresión entre la relación de carbono orgánico soluble o extraíble (mg/kg) y el flujo de carbono (ugCO_2/g suelo h^{-1}) (respiración) tras 1 hora de humectar el suelo.	29
Figura 35. Recta de regresión entre la relación de carbono orgánico total (COT) (g/kg) y de flujo de carbono (ugCO_2/g suelo h^{-1}) (respiración) a los 7 días.	30
Figura 36. Recta de regresión entre la relación de carbono orgánico soluble o extraíble (mg/kg) y de flujo de carbono (ugCO_2/g suelo h^{-1}) (respiración) a los 7 días.	30

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

RESUMEN

El hábitat del arbusto *Ziziphus lotus* en el ambiente semiárido de la zona de Amoladeras-Torregarcía, en el complejo ecohidrológico de Cabo de Gata, puede ser estudiado como un proveedor de cualidades edáficas. Este trabajo se centró en el análisis de indicadores que permiten medir la calidad de los suelos en el hábitat prioritario del azufaifar, y evaluar del efecto “isla de fertilidad” de *Z. lotus*. El estudio se desarrolló en torno a cuatro individuos de *Z. lotus* mediante dos diseños experimentales: 1) la caracterizaron física y química, mediante calicatas, de los horizontes de suelo bajo la influencia de *Z. lotus* (cuatro réplicas) y de suelos sin cubierta vegetal de sus alrededores (cuatro réplicas), y 2) el cálculo de las variables biológicas del suelo relacionadas con la actividad microbiana, las tasas de mineralización y el concepto de respiración del suelo, diferenciando también entre cubiertas. Los resultados establecieron que hay diferencias entre las variables físicas, químicas y biológicas por la influencia del azufaifo. La presencia de *Z. lotus* aumenta los indicadores de calidad del suelo y disminuye la degradación en un ambiente tan amenazado por el cambio global como es el Parque Natural Cabo de Gata-Níjar. Este trabajo pretende demostrar de una manera preliminar el efecto que produce *Z. lotus* y su hábitat los indicadores de calidad del suelo que se ven afectados por el cambio climático, particularmente en el semiárido del sureste de España.

Palabras clave: “Isla de fertilidad”, *Ziziphus lotus*, calidad del suelo, indicadores, hábitat prioritario, semiárido.

ABSTRACT

The habitat of the shrub *Ziziphus lotus* in the semi-arid environment of the Amoladeras-Torregarcía area, in the Cabo de Gata ecohydrological complex, can be studied as a provider of edaphic qualities. This work focused on the analysis of indicators that allow the measurement of soil quality in the priority habitat of the wild jujuba, and assess the effect of "island of fertility". The study was carried out around for individuals of *Z. lotus* through two experimental designs: 1) the physical and chemical characterization, with calycatas, of the horizons of soil under the influence of *Z. lotus* (four replicates) and soils without vegetation cover in the surrounding area (four replicates), and 2) the calculation of biological soil variables related to microbial activity, mineralisation rates and the concept of soil respiration. The results established that there are differences between physical, chemical and biological variables due to the influence of the wild jujube. The presence of *Z. lotus* increases soil quality indicators and decreases degradation in an environment as threatened by global change as the Cabo de Gata-

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

Níjar Natural Park. This work aims to demonstrate in a preliminary way the effect of *Z. lotus* and its habitat on soil quality indicators affected by climate change, particularly in the semi-arid southeast of Spain.

Key words: “Fertility island”, *Ziziphus lotus*, soil quality, indicators, priority habitat, semiarid.

1. INTRODUCCIÓN

El hábitat 5220* recogido dentro de la directiva 92/43/CEE (Directiva Hábitats) se caracteriza por la importancia de sus formaciones vegetales en las zonas semiáridas de la región mediterránea dominado principalmente por grandes arbustos espinosos de origen tropical o subtropical (Tirado, 2009), entre los que destacan el azufaifo o *Ziziphus lotus* (L.) Lam (Rhamnaceae). *Z. lotus* es la especie clave de este hábitat prioritario que se distribuye por las zonas litorales de la cuenca mediterránea, especialmente en el norte de Marruecos, el sureste de la península ibérica, Sicilia y Chipre (Sánchez-Gómez et al., 2003). En España está bien representado en las provincias de Almería, Murcia y Alicante donde desempeñan funciones ecológicas esenciales para los ambientes semiáridos (Sánchez-Balibrea et al., 1988; Tirado, 2009).

Entre estas funciones destaca su papel clave en los ciclos de carbono y del agua contribuyendo al mantenimiento de servicios ecosistémicos esenciales (Cabello et al., 2015), particularmente de regulación como el secuestro de carbono, la regulación hídrica o el mantenimiento del hábitat para la biodiversidad. La importancia de esta especie estriba en su condición freatófita y en su dependencia del agua subterránea (Guirado et al., 2018; Torres-García et al., 2021) y, por tanto, su capacidad para movilizar agua de los acuíferos e incrementar la productividad primaria en entornos semiáridos.

El *Z. lotus* presenta un sistema radicular profundo de hasta 60 metros (Le Houérou, 2006), que le permite obtener agua de las capas más profundas del acuífero y poder redistribuirla a la superficie a través del proceso denominado “levantamiento hídrico” (Gutiérrez y Squeo, 2004; Padilla, 2008; Tirado, 2009).

A escala local *Z. lotus* evita la erosión y contrarresta el efecto de las avenidas especialmente en los cursos de las ramblas, depresiones del terreno y zonas arenosas (Tirado, 2009).

El hábitat de *Z. lotus* presenta una distribución en parches característico de los ecosistemas áridos “La vegetación se agrupa de forma irregular en zonas áridas para desarrollar una mejor adaptación y maximización de la obtención del agua” (Puigdefábregas y Sánchez, 1996). Esta

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

distribución tiene como resultado la desigual disponibilidad de recursos, siendo mayor bajo el dosel vegetal que en las zonas de suelo desnudo, un proceso que se conoce como “isla de fertilidad” (Pugnaire et al., 1996). De esta forma esta estructura en parches contribuye a acumular agua y nutrientes, a frenar procesos erosivos como el impacto de la lluvia, la escorrentía superficial o la aparición de costras físicas por distintos (Gutiérrez y Squeo, 2004; Muñoz et al., 2017). De esta manera el hábitat dominado por *Z.lotus* (azufaifar) podría ser clave para la conservación de las regiones semiáridas.

La alteración de la calidad del suelo es uno de los puntos clave en el seguimiento de la desertificación, un proceso muy vinculado al cambio global (Arrouays y Ranger, 2014). Los suelos son el principal sustento de la vida en la tierra siendo uno de los principales generadores de servicios ecosistémicos existentes, sin embargo, las presiones provocadas por la actividad antrópica han ido degradando poco a poco la tierra fértil (Pennock y McKenzie, 2016), la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) en su estudio global del recurso para el año 2016 señala que existen diez amenazas causantes de la pérdida de calidad del suelo. Por esto, para estimar el estado del suelo y su capacidad de provisión de servicios se desarrollan indicadores como el de “Calidad del suelo”.

El concepto de calidad del suelo tiene diversas connotaciones y fue a partir de los años 90 cuando proliferaron los estudios en base a este concepto. La Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (SAG) estableció la calidad como “la capacidad funcional de un tipo de suelo específico para sustentar la productividad vegetal, animal y sostener el asentamiento humano junto con su salud, límites ecosistémicos naturales o determinados por el manejo” (Albanesi Ada et al., 2013). El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA) establece la calidad de un suelo como una mezcla entre propiedades físicas, químicas y biológicas junto con sus interacciones que permiten captar la naturaleza holística de la calidad o salud de un suelo y que se establece mediante la valoración de un conjunto de parámetros, con diferentes pesos (USDA, 1999).

Evaluar la calidad del suelo presenta dificultades pues la sensibilidad de los indicadores de calidad se ve alterada por las condiciones climáticas del entorno. Así el conjunto de indicadores de calidad incluye diversos criterios que abarcan los procesos del ecosistema, integrando los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo junto a la sensibilidad climática (Doran y Parkin, 1994).

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

Los parámetros físicos más destacados para evaluar la calidad del suelo incluyen la textura, (distribución de partículas minerales de arena limo y arcilla), la profundidad del suelo, la infiltración, densidad aparente, compactación o espacio poroso y la capacidad de retención del agua (USDA, 1999 y Bautista Cruz et al., 2004).

Entre los parámetros químicos destaca la materia orgánica, que incluye el carbono orgánico y nitrógeno total, estos parámetros controlan la fertilidad del suelo a través de su actividad biológica en base a la regulación de los ciclos biogeoquímicos (Campetelli et al., 2010, Franco, 2014), el pH, que regula la actividad química y biológica, la conductividad eléctrica, indicador de la disponibilidad de nutrientes y de procesos de contaminación y, diferentes formas de nitrógeno, fósforo y potasio, nutrientes esenciales para las plantas y determinantes de la productividad del suelo (Albanesi et al., 2013, Hernan Celaya et al., 2010, Campetelli et al., 2010).

Por último, entre los parámetros biológicos destaca la actividad microbiana y la “respiración del suelo”, siendo conceptos estrechamente relacionados y, el nitrógeno mineralizable, que hace referencia a la producción y suministro de nitrógeno llevado principalmente por los microorganismos (USDA, 1999, Bautista Cruz et al., 2004, Hernan Celaya et al., 2010, Pennock y McKenzie, 2016).

Estos indicadores pueden aportar información de la sustentabilidad de un ecosistema (Orozco-Ramírez, 2009) y facilitar la toma de decisiones para combatir las amenazas de suelo (Pennock y McKenzie, 2016).

La información de los indicadores de calidad y los servicios ecosistémicos que proporciona el *Z. lotus* es especialmente importante en ambientes áridos o semiáridos, donde el peligro de desertificación es mayor como ocurre en lugares del sur de España o el norte de África, ya que las precipitaciones y la vegetación son escasas, el clima es seco hacen estos parajes especialmente vulnerables a los efectos del cambio climático (Cabello et al., 2015).

Esto antecedentes nos permiten establecer la hipótesis de que el hábitat 5220* dominado por *Z. lotus* puede contribuir a la mejora de calidad del suelo en zonas áridas y semiáridas gracias al efecto “isla de fertilidad” que realiza sus comunidades vegetales además, el patrón de distribución espacial de los suelos puede responder a este efecto isla en el sureste andaluz concretamente en el espacio natural Cabo de Gata-Níjar (Almería) demostrando su importancia en los espacios protegidos dentro de la Red Natura 2000.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

2. OBJETIVOS

El objetivo general del estudio es caracterizar la calidad de los suelos y establecer el efecto de las “islas de fertilidad” en el hábitat del *Ziziphus lotus* (5220*) sobre estas en el Parque Natural Cabo de Gata-Níjar demostrando su importancia en los espacios naturales protegidos dentro de la Red Natura 2000.

Como objetivos específicos se busca:

1. Describir y caracterizar las principales tipologías de suelos del Hábitat.
2. Determinar un conjunto básico de indicadores relacionados con la calidad del suelo, relacionados con sus propiedades morfológicas y propiedades físicas, químicas y biológicas.
3. Establecer, a partir de estos indicadores, la calidad de los suelos del Hábitat, y evaluar el efecto “isla de fertilidad”.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

Este estudio se localiza en el complejo ecohidrológico del azufair en Torregarcía, concretamente entre la rambla de Retamar y la rambla Morales, en el Parque Natural Cabo de Gata-Níjar (UTM: 30S 565187 4075276, Figura 1).



Figura 1. Localización general del área de estudio (Guirado, 2015).

La zona cuenta con un característico clima semiárido, en el que la precipitación es menor que la evapotranspiración potencial. Las temperaturas medias anuales son de 18°C la media de las

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

temperaturas máximas es de 30.3°C. Mientras que en invierno la temperatura mínima es superior a 8°C. Las temperaturas medias son suaves con ausencia de heladas. La precipitación media anual es de 18 mm, de la cual menos del 30% se produce durante los meses de verano (Datos climáticos de la Agencia Estatal de Meteorología).

En cuanto a sus características geológicas el área de estudio se encuentra dentro de la cuenca de Almería-Níjar en la parte más oriental y junto a la costa. Afloran materiales detríticos del cuaternario sobre materiales del plioceno y mioceno, formando la llamada llanura costera eólica. Se caracteriza por el afloramiento de materiales como arenas y cantos eolizados, conglomerados con fauna marina, costras calcáreas y materiales terciarios más profundos compuestos de limos y arenas, que debe tener un espesor medio de 80 metros en su conjunto. Los materiales superiores tienen el mayor tamaño de grano (Rodríguez-Fernández et al., 2015).

En cuanto a las unidades taxonómicas del suelo de la zona destacan los Arenosoles y Leptosoles, suelos normalmente profundos, de tipo AC, con un horizonte A de textura, la mayor parte de las veces, arenosa o arenosa franca, con un contenido en materia orgánica bajo lo que hace que sus partículas estén sueltas o que presenten una estructura débilmente desarrollada. La carbonatación de estos suelos es pequeña, con una cantidad de carbonato cálcico equivalente que en la mayoría de los casos no supera el 10%. Estos Arenosoles y Leptosoles a su vez se clasifican en álbicos y calcáricos, bajos en materia orgánica, pH alcalinos, arenosos y calcáreos (Aguilar et al. 2004; WRB, 2015).

En cuanto a la serie de vegetación destaca la serie termomediterránea almeriense semiárido-árida del azufaifo. La comunidad climácica es un espinal denso caducifolio xerófilo dominado por el azufaifo. El elevado porte del azufaifo y su efecto isla permite que se le asocien diversas especies arbustivas como *Whitania frutescens*, *Osyris quadripartita*, *Asparagus horridus*, *Lycium intricatum*, *Launacea arborescens*, sobre las que ejerce un efecto nodriza (Tirado, 2009).

3.2. Diseño experimental

Para la caracterización y muestreo de los suelos, que permite establecer el efecto “isla de fertilidad” sobre la calidad general del suelo, se estableció un diseño experimental que considera dos situaciones: suelos bajo el dosel de la planta (dentro) y suelos sin cobertura vegetal (fuera) (Figura 2). Para cada una de estas situaciones se muestrearon en cuatro sitios elegidos al azar (réplicas), tomando como referencia la presencia de azufaiños. En total se realizaron 8 calicatas,

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

4 para suelo sin cobertura vegetal y 4 para suelo bajo planta, en el que se obtuvieron 18 muestras de horizontes que corresponden a las muestras analizadas.



Figura 2. Esquema de diseño experimental del muestreo de los suelos donde se realizaron las calicatas bajo cubierta vegetal del *Ziziphus* (dentro), y áreas sin cubierta vegetal (fuera).

Asociado a este primer diseño, en las mismas localizaciones de los perfiles, se estableció un segundo diseño para la toma de muestras dirigidas para la caracterización de las variables biológicas: biomasa microbiana y tasas de mineralización. En este caso la toma de muestras se limitó a los horizontes superficiales (10 cm) y se intensificó el muestreo.

En cada una de las localizaciones de los perfiles se tomaron 3 réplicas en cada situación (dentro/fuera), en total 24 muestras (Figura 3). Ambos diseños experimentales se plantearon y realizaron en septiembre y octubre de 2019 en la provincia de Almería.



Figura 3. Esquema de diseño experimental de las variables biológicas. Entorno a cada azufaifo (4) se tomaron 3 muestras bajo cubierta vegetal y en 3 situaciones sin cubierta.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

4. MUESTREO DE CAMPO

Para el muestreo de perfiles se procedió a la apertura de calicatas que representaran el pedón del suelo: aproximadamente 1 metro de ancho hasta contacto con el material original (Figura 4). En cada calicata se identificaron los horizontes morfológicos y se describieron según lo establecido en la guía de descripción de suelos de la FAO (2009). En campo se describieron las características del terreno del perfil y las propiedades morfológicas de los horizontes, el color (sistema Munsell), estructura, porosidad, reacción calcárea, cantidad de raíces, fragmentos rocosos, límites de horizontes, etc. Una vez descritos se procedió al muestreo de los horizontes.

La toma de muestras para la caracterización de las variables biológicas se realizó mediante anillos de acero de 8 cm de diámetro por 10 de alto, de los que se recuperaba el material después de introducirlos en el suelo.



Figura 4. Calicata bajo *Ziziphus*.

5. METODOLOGÍA DE LABORATORIO

5.1. Preparación de la muestra

Las muestras una vez transportadas al laboratorio se sometieron a procesos de secado y a una separación de las fracciones *tierra fina* (< 2 mm) y *gruesa* (o grava) (> 2 mm) mediante molienda y tamizado en un tamiz de 2 mm de diámetro. La fracción grava fue descartada tras su pesaje. Por último, se procedió a una molienda de la fracción *tierra fina* en mortero de ágata

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

de la marca FRITSCH (Figura 5) Estas muestras, *tierra fina* y suelo *finamente molido* fueron utilizadas en las diferentes determinaciones analíticas en función de los métodos utilizados.



Figura 5. (a) Tamiz para la separación de la fracción “tierra fina” (>2 mm), fracción “gruesa” (rechazo del tamiz). (b) motero de ágata para la molienda fina de la muestra.

5.2. Análisis físicos

5.2.1. Cálculo textural

Las características texturales se establecieron a partir de la fracción *tierra fina* mediante el cálculo de las fracciones de arenas, limos y arcilla atendiendo a las clases establecidas clasificación americana (USDA, 1999). Se realizó un pretratamiento de las muestras que consiste en la destrucción de materia orgánica mediante oxidación por H_2O_2 y calor. Posteriormente se dispersaron mediante tratamiento químico (hexametáfosfato sódico) y físico (agitación volteo durante 8 horas).

Una vez dispersas las muestras, se realizó un tamizado en húmedo en el que se separó la fracción arena con un tamiz de luz de 0.02 mm de las fracciones más finas (limo y arcilla).

Las fracciones de arcilla y limo pasaron a una columna de sedimentación donde se separaron por el método de la pipeta de Robinson basado en la ley de Stokes (Figura 6).

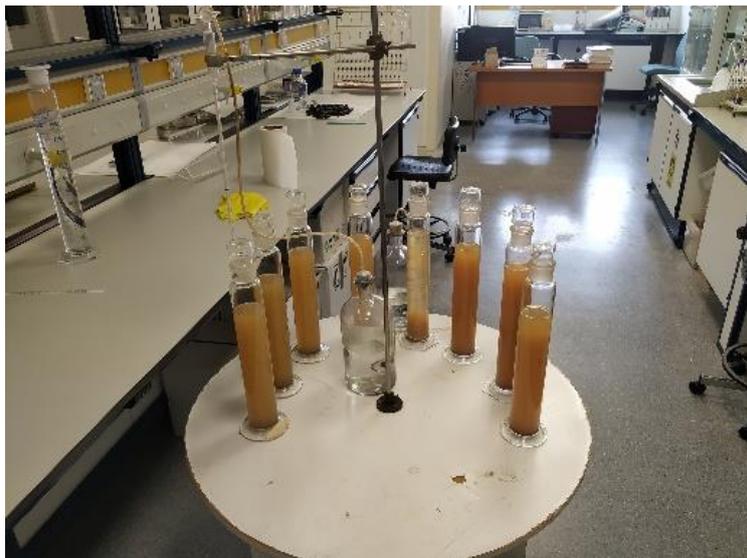


Figura 6. Disposición de las columnas de sedimentación para el análisis textural por el método de Robinson.

5.2.2. Retención de agua

Para la determinación de la retención de agua en los diferentes puntos críticos, *capacidad de campo* y *punto de marchitamiento*, se utilizó el método de la membrana de Richards. Las muestras del suelo fueron colocadas en unas placas de cerámica y saturadas en agua durante 24 horas y, una vez introducidas en las “ollas” de presión, se sometieron a 1 bar para el cálculo de la *capacidad de campo* y a 15 bares para *el punto de marchitamiento*.

A partir de estos parámetros se calcularon dos propiedades básicas para evaluar el comportamiento hídrico del suelo: el agua útil (Ecuación 1) y la reserva de agua (Ecuación 4).

$$Au(mm * cm^{-1}) = \frac{(CC-PM)*Da*CM}{10} \quad (1)$$

Donde, AU: Agua útil, CC = capacidad de campo, PM = punto de marchitamiento, Da = densidad aparente (Ecuación 2), CM = fragmentos gruesos (Ecuación 3).

$$Da = 1.5459 + 0.0015 * (arenas) - 0.0022 * (arcillas) - 0.01219 * (CO) \quad (2)$$

Donde, Da: densidad aparente, arenas = % arenas, arcillas = % arcillas, CO = % carbono orgánico.

$$CM = \frac{2.65 - \left(\frac{1-G}{100}\right)}{2.65 - \left(\frac{1-G}{100}\right) + Da * \left(\frac{G}{100}\right)} \quad (3)$$

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

Donde, CM: fragmentos gruesos, G = % gravas, Da = densidad aparente.

$$RA(mm) = Ps * Au \quad (4)$$

Donde, RA: reserva de agua, Ps = profundidad del suelo (en cms) y Au = agua útil (en mm/cm).

5.3. Análisis químicos

5.3.1. PH y Conductividad eléctrica

La medida del pH y la conductividad eléctrica se realizó en una solución 1/1, con 10 gramos de muestra y 10 ml de agua. Para la medida se utilizó un conductímetro de la marca CRINSON y un pHmetro micropH de la marca CRINSON (Figura 7).



Figura 7. Conductímetro y pH metro junto con las muestras para la determinación de los parámetros de conductividad eléctrica y pH.

5.3.2. Carbono orgánico total

El cálculo de carbono orgánico (COT) se realizó por una modificación del método de Walkley y Black, mediante la determinación rápida de carbono orgánico en suelos por oxidación en vía húmeda de Mingorance et al., (2010) Se usó una solución acuosa de dicromato potásico 1N y ácido sulfúrico al 96%

5.3.3. Carbono orgánico soluble o extraíble

El cálculo de carbono soluble o extraíble se realizó por la determinación de carbono extraíble mediante una solución extractora de 10 mM de dicloruro de calcio a 10 g de suelo tamizado a

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

2 mm (Jones et al., 2006), en la que se centrifugó y filtró el sobrenadante para la medición de la concentración por absorbancia a 250 nm en un fotómetro de la marca PHOTHOSTORE.

5.3.4. Nitrógeno total

La determinación de nitrógeno total se llevó a cabo mediante análisis elemental con un analizador Leco TruSpec CN, utilizando muestras de suelo finamente molido. A partir de esta variable y del carbono orgánico se obtuvo la relación carbono/nitrógeno.

5.3.5. Carbonatos totales

Se determinaron a partir del contenido de carbono total obtenido en el análisis elemental realizado con un analizador Leco TruSpec CN, restando la cantidad de carbono orgánico obtenido previamente mediante el método de oxidación por vía húmeda según la expresión:

$$\text{Carbono inorgánico (carbonatos)} = \text{Carbono total} - \text{Carbono orgánico}$$

5.3.6. Fertilidad del suelo

La caracterización de la fertilidad del suelo se obtuvo por el método de extracción líquida en solución acuosa. Una vez obtenida la solución de suelo se midieron los aniones mediante cromatografía líquida con un cromatógrafo de la marca PHOTOSTORE modelo Chromeleon (Figura 8). Para la determinación se prepararon de diluciones 1:5 de suelo junto, con una curva patrón de mezcla de nitritos, nitratos, cloruros, sulfatos a concentraciones conocidas de 0, 5, 10, 15 y 30 ppm.

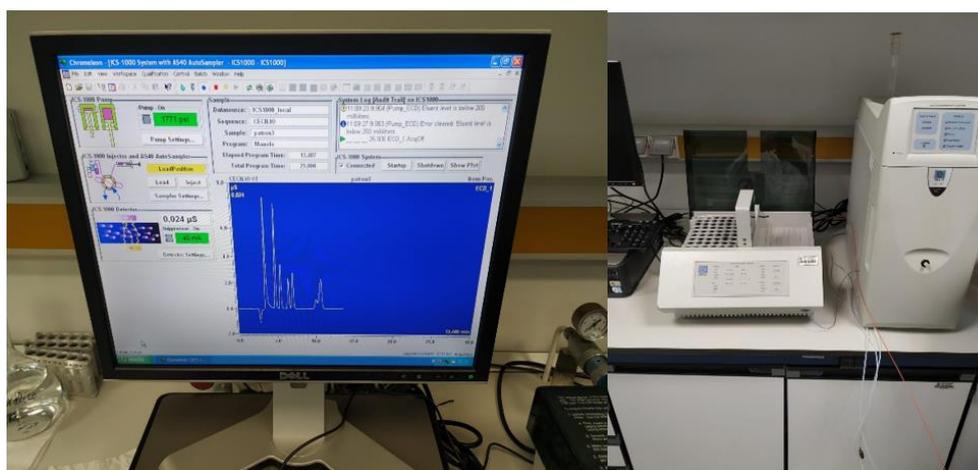


Figura 8. Cromatógrafo usado para la determinación de composición aniónica de la solución del suelo.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

5.4. Análisis de variables biológicas

Para este análisis se tomaron 25 g de las muestras tamizadas a 2 mm y se colocaron en un recipiente de vidrio con cierre hermético y septum de goma en la tapa (Figura 9). A cada muestra se añadió la cantidad de agua necesaria para alcanzar $2/3$ partes de su capacidad de campo y se incubaron a una temperatura constante de 25° C. En estas condiciones se realizaron dos experimentos; uno para estimar la población microbiana a partir de la estimación de carbono microbiano mediante el método de respiración inducida, en el que se añade muestra de sacarosa como fuente de carbono favoreciendo la activación de la población microbiana (Anderson y Domsch, 1978), y en el segundo experimento para evaluar la tasa de mineralización no se añadió ninguna fuente externa de carbono (solo agua) y se prolongó el tiempo de incubación durante un periodo de siete días.

En ambos casos, para establecer la actividad microbiana, se determinó el flujo de CO₂ mediante la extracción de 0.5 ml de aire del interior de los recipientes (Figura 10), y se midió la concentración de CO₂ con un analizador de gases por infrarrojos (Q-Bit SR1LP Soil respiration. Qubit Systems, Canada).



Figura 9. Recipientes herméticos introducidos en la estufa a 25° C.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.



Figura 10. Kit de respiración del suelo Q-BOX SR1LP, basado en la determinación de CO₂ mediante analizador de infrarrojos.

Para la determinación de la población microbiana se realizó una única medida a las 6 horas del inicio de incubación, obteniendo la cantidad de CO₂ desprendido. A partir de esta y, aplicando la ecuación propuesta por West y Sparling (1986) (Ecuación 5) se estimó el carbono microbiano, considerado como indicador de la población microbiana.

$$C_{mic} = 32.8 * CO_2 + 3.7 \quad (5)$$

Donde: C_{mic} se expresa en $\mu\text{g C g}^{-1}\text{soil}$ y $CO_2 = \text{flujo medido en } = \mu\text{l CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{suelo h}^{-1}$, $h = \text{horas}$.

Para estimar las tasas de mineralización la incubación se mantuvo durante un periodo de 7 días en los que se extrajeron muestras de aire y se midió el contenido de CO₂ cada 24 horas. La primera medida se hizo a la hora para comprobar la respuesta rápida del suelo por la activación microbiana por el agua (efecto “Birch”). Tras cada medida, los recipientes fueron abiertos unos minutos para refrescar el espacio superior e inmediatamente sellados hasta el día siguiente (Figura 11).

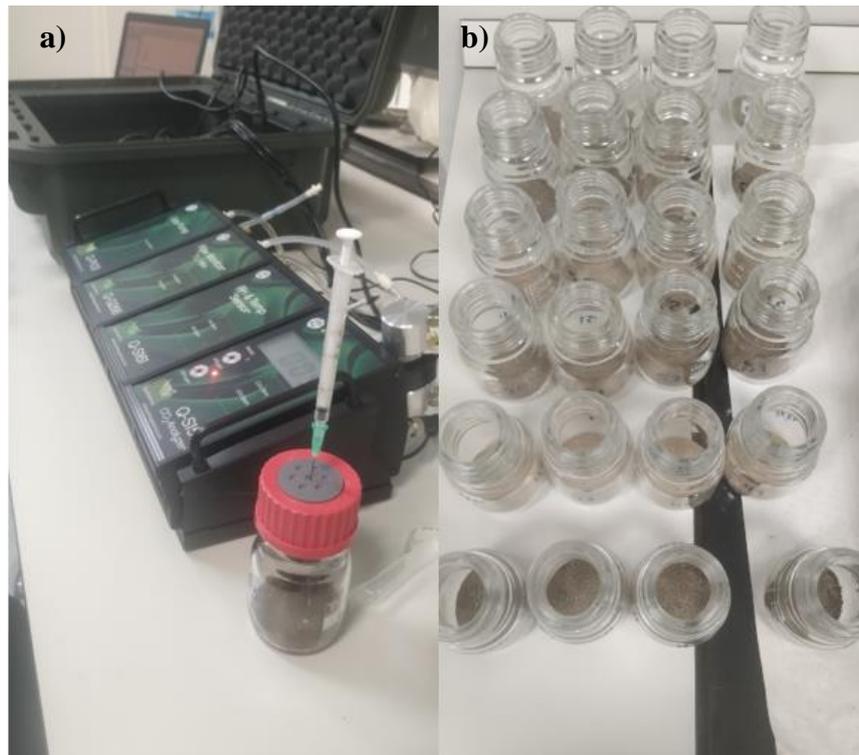


Figura 11. Jeringa inyectada para la medición de CO₂ (a) y botes abiertos para su aireación y tras medición (b).

5.4. Análisis estadísticos

Los diferentes datos obtenidos tanto en campo como laboratorio han sido estadísticamente procesados con el objetivo de comparar el comportamiento de los parámetros mediante el análisis de la varianza simple (ANOVA) comparando los resultados de las variables por cubierta y, por horizontes y cubierta con el objeto de conocer las diferencias significativas existentes para un grado de significación del 0,05 por el método LSD de Fisher donde las letras corresponde a diferencias significativas (a,b,c...) y las líneas corresponden al error estándar, ambas, en todos los casos. Por otro lado, se han realizado rectas de regresión para conocer la interacción de las fracciones de carbono (total y soluble o extraíble) y los flujos de CO₂ (respiración) durante los 7 días de incubación de muestras superficiales.

6. RESULTADOS

6.1. Morfología del suelo

La información cualitativa y cuantitativa que describen la morfología de los perfiles se resume en la tabla del Anexo 1, y en general reflejan por una escasa diferenciación de horizontes el predominio de las texturas arenosas. En los perfiles realizados fuera de cubierta vegetal

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

encontramos Leptosoles calcáricos y Arenosoles calcáricos con horizontes Ah, C y Cmk, y unas escasas profundidades con un máximo de 30 cm, y reacción fuertemente calcárea. En los perfiles bajo cubierta vegetal encontramos, en todos los casos, Arenosoles calcáricos, con horizontes Ah, Bw, AC, o C con una mayor profundidad del perfil, de incluso más de 70 cm, y reacciones calcáreas también fuertes.

Las diferencias de profundidades del perfil son estadísticamente significativas (Figura 12), siendo mayor los muestreados bajocubierta vegetal, media de 59.5 cm, que los muestreados sin cubierta vegetal, media de 23.5 cm.

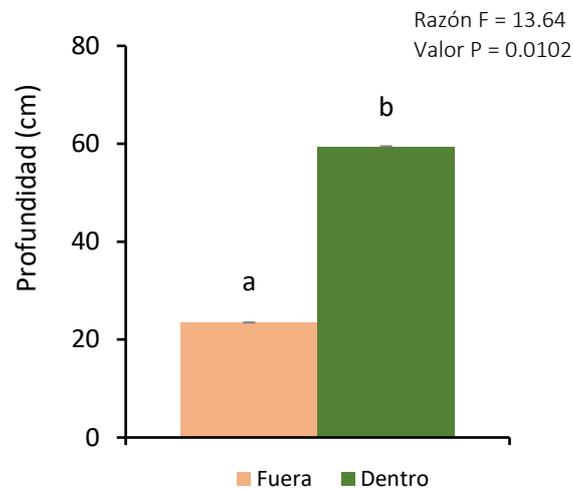


Figura 12. Profundidad media de los perfiles suelo (cm) por tipo de cubierta.

Estas diferencias se mantienen por horizontes (Figura 13) donde se observan diferencias significativas entre ellos, que se observa especialmente en el horizonte superficial Ah (que aparece en ambos tipos de suelo) donde bajo vegetación es de 22 cms y sin vegetación de 15.75 cms.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

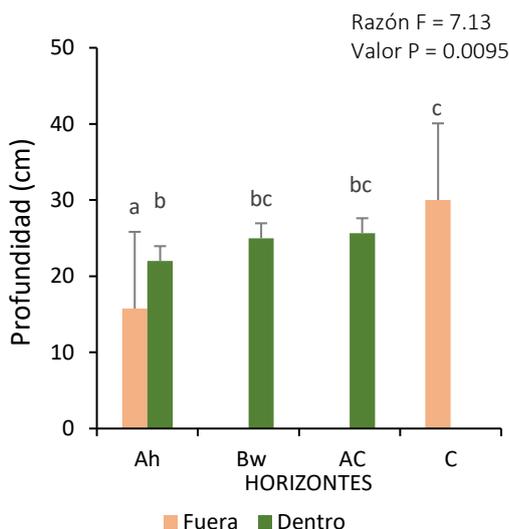


Figura 13. Profundidad media (cms) por horizontes y por cubierta.

6.2. Variables físicas

El análisis textural muestra una textura arenosa general de los suelos del ecosistema, sin diferencias significativas de las distintas fracciones (arenas, limos y arcillas) por tipos de horizonte o por tipo de cubierta (Figura 14), siendo el porcentaje de arenas mayor en todos los horizontes y en ambas cubiertas.

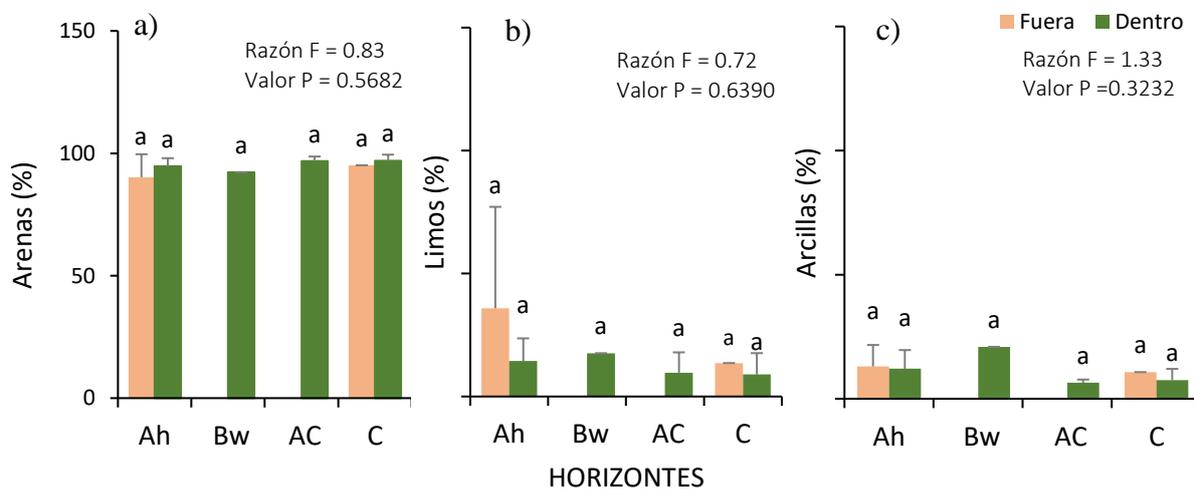


Figura 14. Textura de los suelos (%) por cubierta y horizontes: a) arenas, b) limos, c) arcillas.

Su representación mediante el triángulo textural (USDA 1999) (Figura 15) confirma la homogeneidad textural y establece que los suelos se encuentran en la franja de suelos arenosos.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

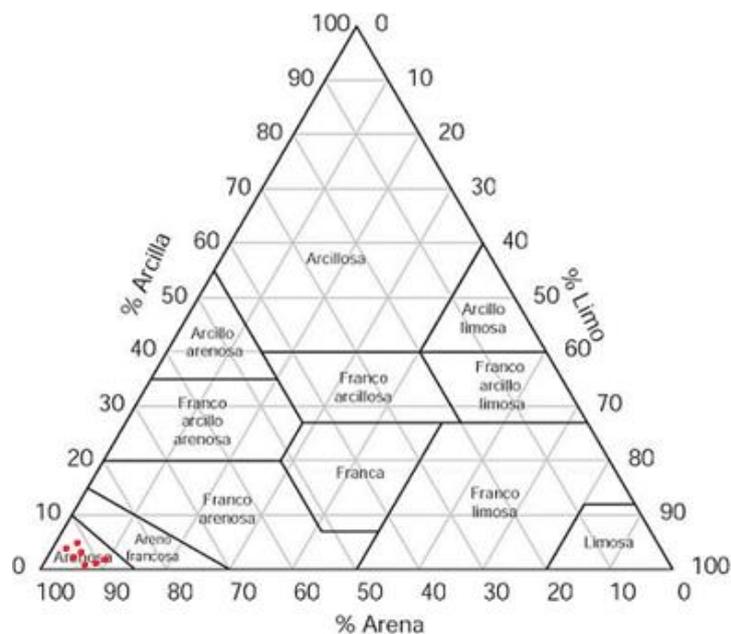
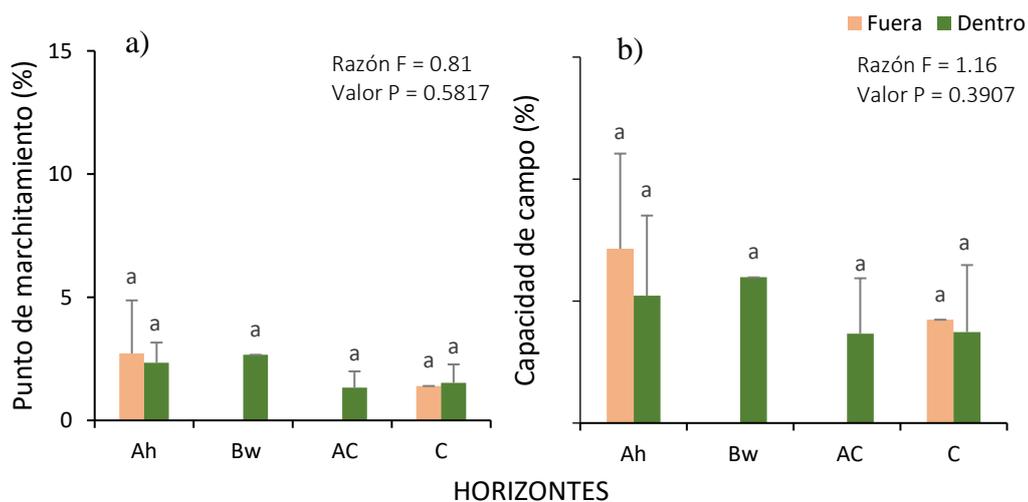


Figura 15. En rojo la textura de los suelos (%) muestreados según el método de la USDA (1999).

6.2.1 Propiedades hídricas

Al igual que las características texturales, los datos relacionados con las propiedades hídricas, punto de marchitamiento, capacidad de campo y agua útil (Figura 16), indican que no existen diferencias significativas en estas variables siendo el porcentaje inferior al 5% (Punto de marchitamiento) y 10% (capacidad de campo) y por debajo de 1 mm/cm en el agua útil.



La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

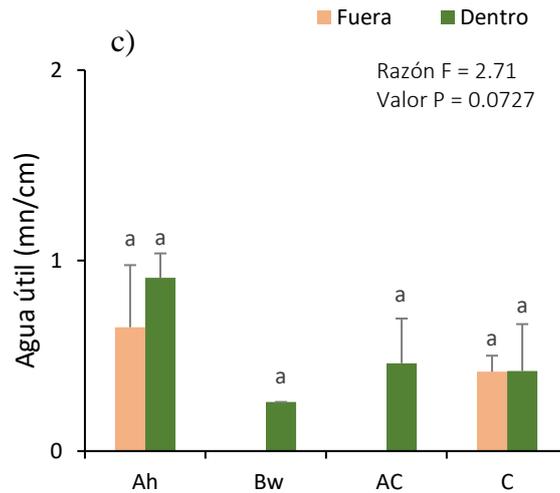


Figura 16. Retención de agua de los suelos por cubierta y horizontes: a) grado de marchitamiento (%), b) capacidad de campo (%), c) agua útil (mm/cm).

En el promedio de la reserva de agua por cubierta de los perfiles (Figura 17), encontramos diferencias significativas viéndose a una mayor cantidad dentro de cubierta vegetal.

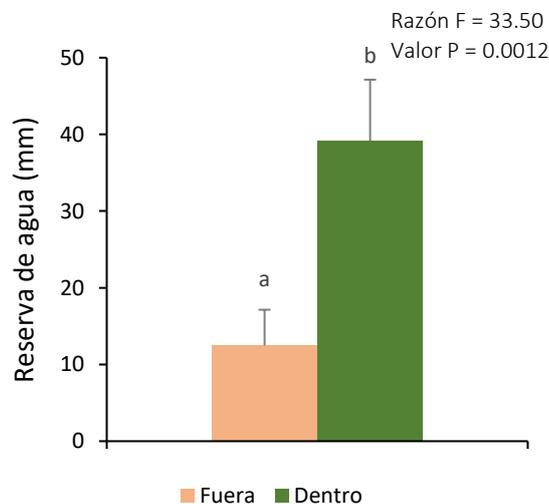


Figura 17. Reserva media de agua (mm) de los perfiles por cubiertas.

6.3. Variables químicas

6.3.1. pH y conductividad eléctrica

Los datos de pH del suelo revelaron ser muy homogéneos con valores moderadamente alcalinos, por lo general por encima de 8 (Figura 18). Sin embargo, aunque en el conjunto de

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

horizontes no se observan diferencias significativas, se aprecia que en el caso de los horizontes Ah de los suelos bajo el azufaifo son ligeramente menores.

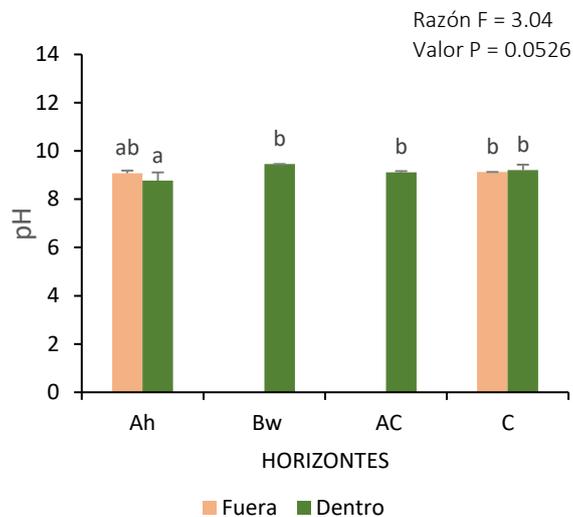


Figura 18. Valores de pH por cubierta y horizontes.

En cuanto la conductividad eléctrica (Figura 19) sí que se aprecia mayor variabilidad, con tendencia a ser más alta en los suelos bajo vegetación. En general, las diferencias encontradas entre los diferentes horizontes resultan significativas. En cualquier caso, los valores de conductividad son muy bajos oscilando entre valores cercanos a 0.1 a 0.2 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$

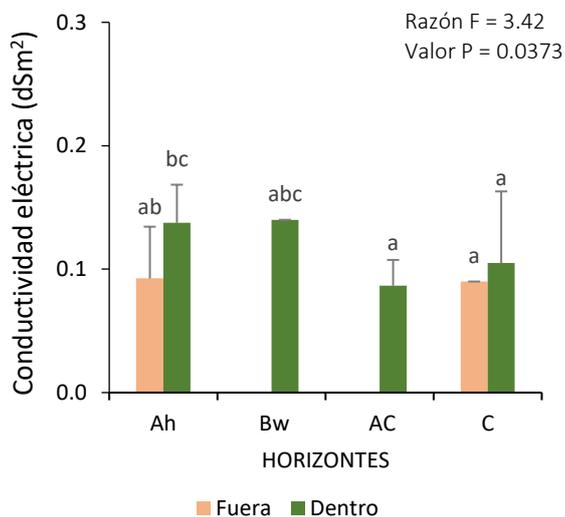


Figura 19. Conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-2}$) por cubierta y horizontes.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

6.3.2. Propiedades de la fracción orgánica

Los resultados de carbono orgánico total (COT) en las muestras de perfiles (Figura 20) indican que con carácter general los suelos presentan valores muy bajos de materia orgánica, los valores de carbono orgánica oscilan entre 0.9 y 3.1 g.kg⁻¹, y no hay grandes diferencias dentro del perfil. De esta forma, no se presentan diferencias significativas entre horizontes (p-value = 0.2874), aunque se observa que los valores más altos se producen en los horizontes superficiales bajo cubierta vegetal.

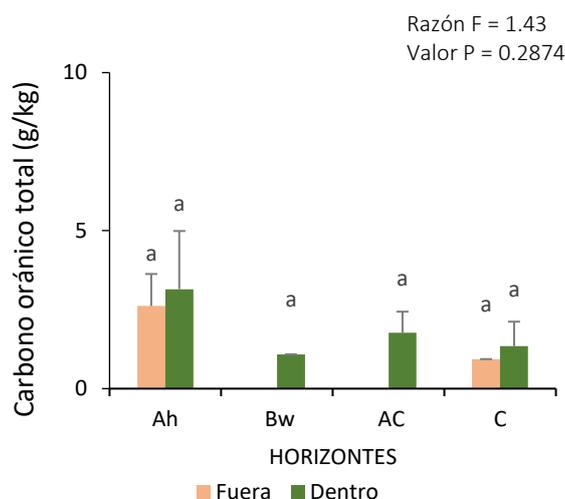


Figura 20. Carbono orgánico total (g.kg⁻¹) por cubierta y horizontes.

Sí que se ven más claramente en los resultados del muestreo específico realizado para establecer las variables biológicas entre ambos tipos de cubiertas (Figura 21). Para este muestreo se observan diferencias muy marcadas, estadísticamente significativas (p-value = 0.0043), con una mayor cantidad de carbono bajo cubierta vegetal, con 7.9 g.kg⁻¹, frente a las muestras sin cubierta vegetal, con 1,3 g.kg⁻¹.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

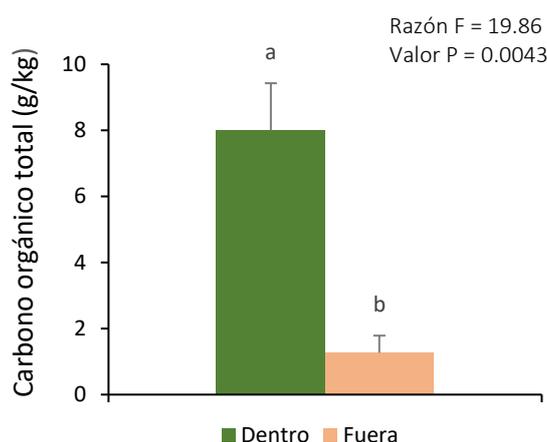


Figura 21. Valores de carbono orgánico total (g.kg^{-1}) en muestras superficiales por cubierta, correspondientes al muestreo específico de variables biológicas.

La fracción de carbono orgánico soluble, o extraíble (Figura 22) sí que presentan importantes diferencias tanto por horizontes como por cubiertas, valores de $p\text{-value} = 0.0$, apreciándose una mayor cantidad en los suelos bajo cubierta vegetal. Destacan los horizontes Ah, con valores de 274.9 g.kg^{-1} , frente a los apenas 0.2 g.kg^{-1} que se encuentran en los horizontes superficiales, suelos sin cubierta vegetal.

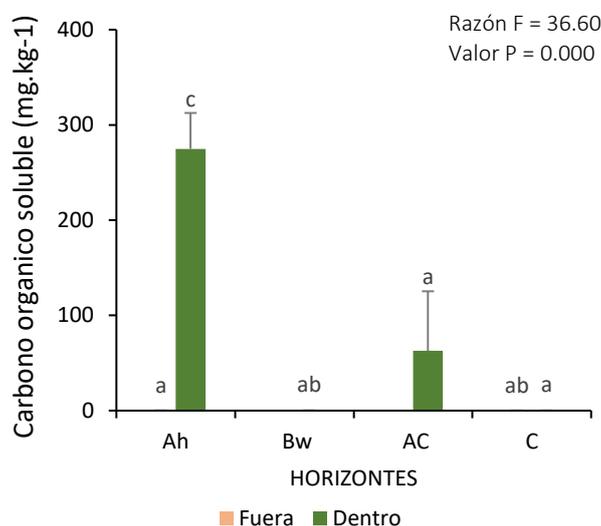


Figura 22. Datos de carbono soluble (mg.kg^{-1}) por cubierta y horizontes.

Este comportamiento en la acumulación de carbono soluble se confirma en las muestras superficiales correspondientes al muestreo de propiedades biológicas (Figura 23), cuyos datos reflejan una mayor cantidad de carbono bajo cubierta vegetal, con 137.3 mg.kg^{-1} frente a los

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

50.9 mg.kg⁻¹ de los suelos sin cubierta. Esto es muy similar a lo ocurrido con el carbono orgánico total. Los datos difieren de los presentados por horizontes y las diferencias estadísticas en este caso son algo menores (p-value = 0.0053) como consecuencia de las diferencias del muestreo.

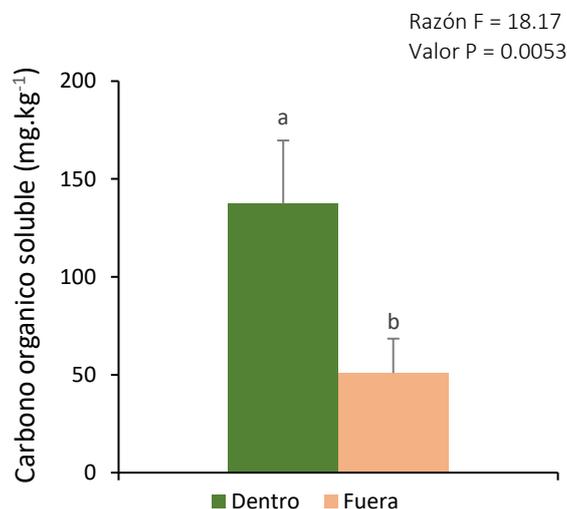


Figura 23. Contenido de carbono soluble (mg/kg) en muestras superficiales por cubierta, correspondientes al muestreo específico de variables biológicas.

Los análisis de nitrógeno total (Figura 24) revelan que no existen diferencias significativas (p-value = 0.5486), aunque por lo general existe una mayor cantidad en los horizontes bajo cubierta vegetal, especialmente en el horizonte superficial (Ah), de forma similar a lo que ocurría con el contenido de COT.

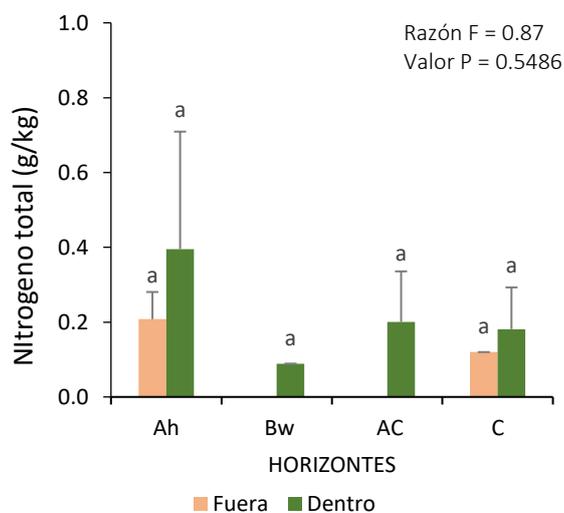


Figura 24. Nitrógeno total (g/kg) entre horizontes y cubierta.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

Este patrón similar entre los valores de COT y nitrógeno orgánico total se refleja en el comportamiento de la relación carbono/nitrógeno (CN) (Figura 25), donde no existen diferencias significativas (p -value = 0.43) siendo esta relación similar en todos los horizontes de ambas cubiertas. Los valores de la relación CN son bajos y muestran escasa variabilidad, entre 9.0 y 12.4.

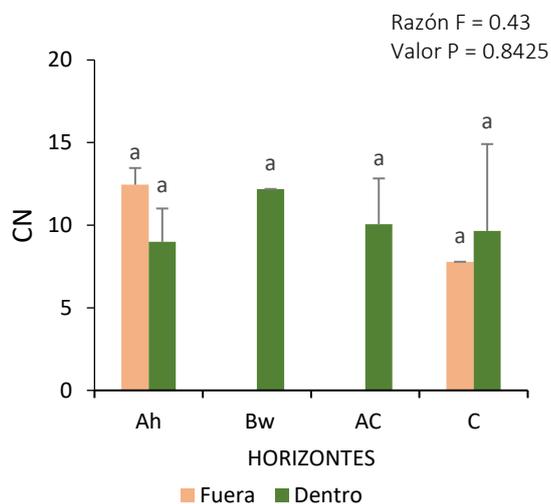


Figura 25. Relación carbono/nitrógeno (CN) por cubiertas y horizontes.

6.3.3. Carbonatos

De los datos de carbono inorgánico destaca (Figura 26) el contenido moderado en los dos tipos de suelo y lo similar de sus contenidos en los diferentes horizontes, como indica la ausencia de diferencias significativas (p -value = 0.5912).

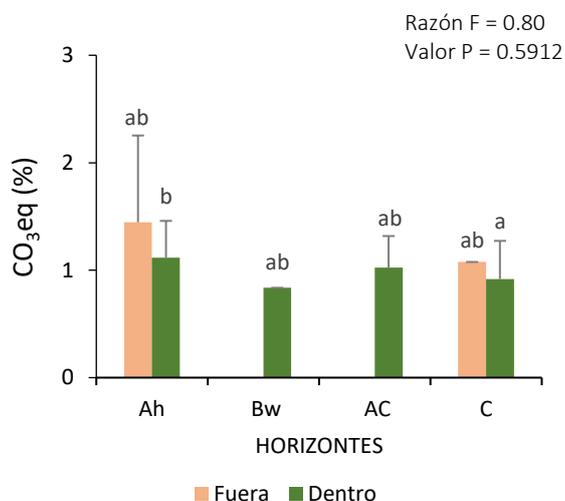


Figura 26. Porcentajes de carbonatos equivalentes (CO₃eq) por cubierta y horizontes.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

6.3.4. Propiedades relacionadas con la fertilidad del suelo

Los análisis de cantidad de nitritos por horizontes y cubierta se muestran en la Figura 27. Los valores en general son bajos, entre 0.14 y 0.34 ppm, y no existen diferencias significativas (p -value = 0.8120) entre el conjunto de horizontes. En cualquier caso, podemos apreciar una mayor cantidad en los horizontes Ah de la cubierta de fuera con respecto a los situados bajo cubierta vegetal, en el resto de los horizontes observamos que por lo general la cantidad de nitritos es mayor dentro.

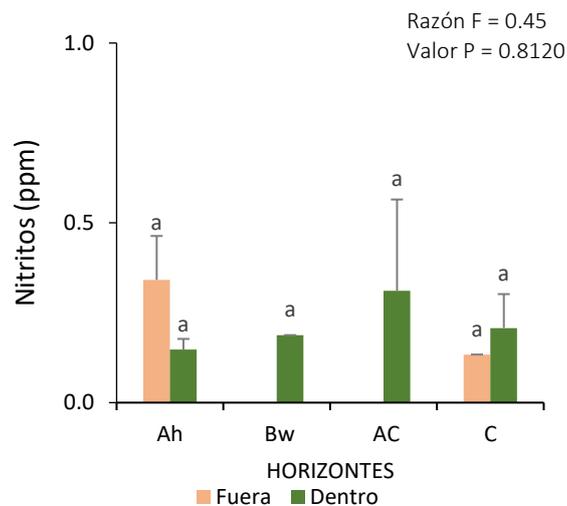


Figura 27. Valores medios y desviación estándar de nitritos (ppm) por cubierta y horizontes.

En el caso de los resultados de nitratos (Figura 28), encontramos comportamiento opuesto a lo que se refiere a su distribución en los diferentes horizontes. En este caso se aprecia una mayor cantidad en el horizonte Ah, bajo cubierta vegetal, 2.6 ppm, que, en el resto de los horizontes, incluido el Ah sin cubierta (0.46 ppm). Podemos ver que existen diferencias significativas (p -value = 0.0025), pero básicamente por el comportamiento del Ah bajo cubierta porque entre el resto de los horizontes las diferencias son menores.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

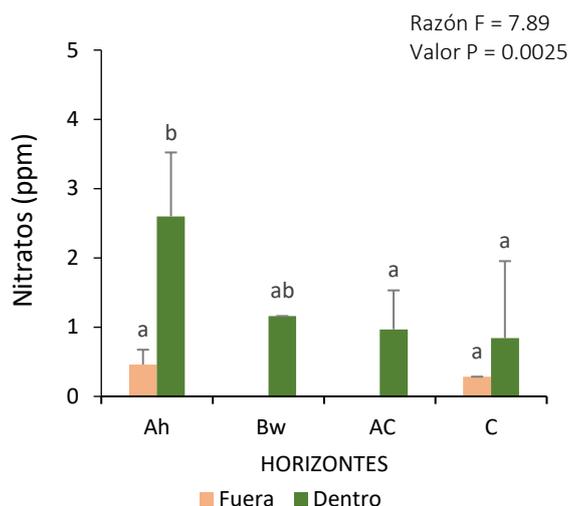


Figura 28. Distribución de valores de nitratos (ppm) por cubierta y horizontes.

Los análisis de cloruros (Figura 29) muestran que apenas existen diferencias entre horizontes y oscilan en estrecho margen entre 1.6 y 3.0 ppm.

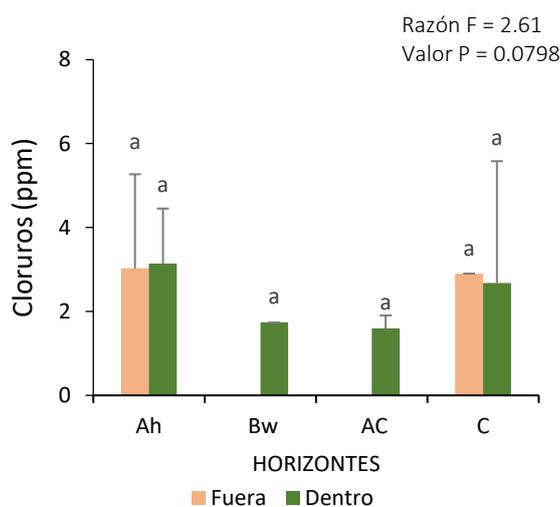


Figura 29. Valores de cloruros (ppm) por cubierta y horizontes.

De igual forma, no hay diferencias estadísticamente significativas con respecto a los sulfatos (p -value = 0.9118) (Figura 30). En este caso se observa una alta variabilidad de los sulfatos, pero no explicada por la cubierta o el tipo de horizontes, que se deduce por los altos valores de desviación estándar de todos los grupos. No hay un patrón en la distribución, pero se puede destacar la alta variabilidad y mayores concentraciones de sulfato en las zonas sin vegetación (fuera) en el horizonte Ah (191.0 +/- 377.3 ppm), respecto a la misma situación en los suelos bajo vegetación, con valores muy bajos y homogéneos (6.6 +/- 5.2 ppm).

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

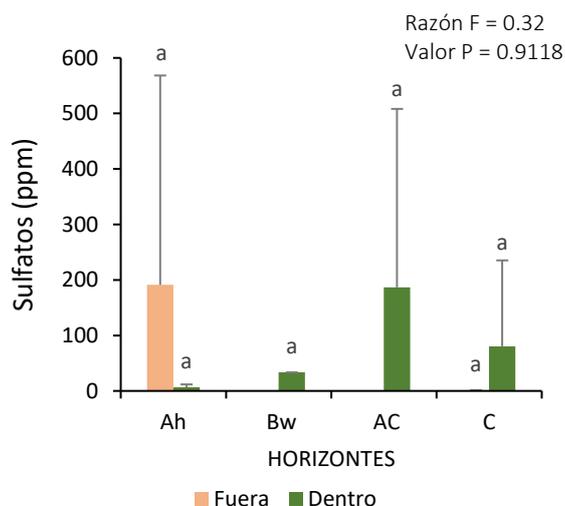


Figura 30. Sulfatos (ppm) por cubierta y horizontes

6.4. Variables biológicas

Los análisis de biomasa microbiana calculado a partir con el CO_2 desprendido (respirado) mediante la técnica de sustrato inducido (Figura 31), muestran claras diferencias entre las cubiertas de fuera y dentro para las muestras superficiales de suelo (p -value = 0.001). La cantidad de carbono microbiano por gramo de suelo bajo cubierta vegetal ($7.5 \text{ ug } c_{\text{mic}}/\text{g}$) prácticamente duplica a la encontrada fuera ($3.9 \text{ ug } c_{\text{mic}}/\text{g}$).

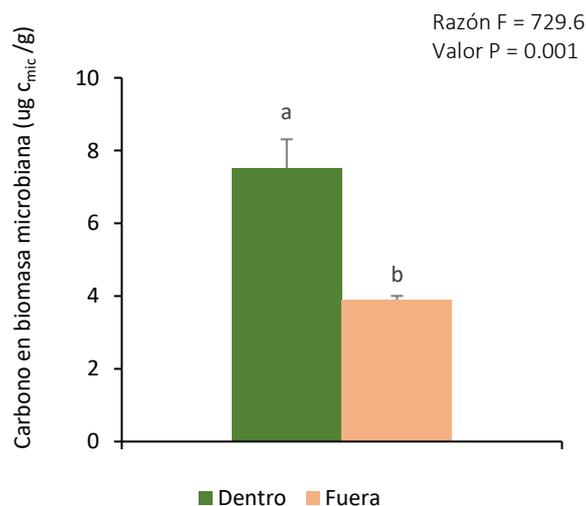


Figura 31. Carbono en biomasa microbiana ($\text{ug } c_{\text{mic}}/\text{g}$ suelo) en muestras superficiales de suelo por cubierta.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

Así mismo, en el experimento de incubación se observa un mayor flujo de CO₂ (respiración del suelo) durante el periodo 7 días (Figura 32) dentro que fuera.

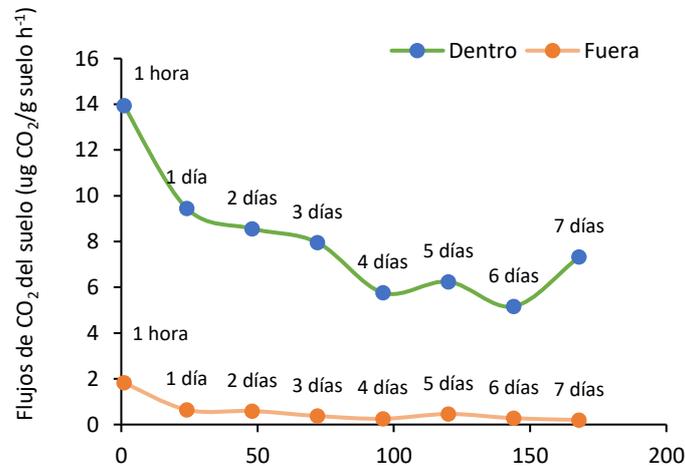


Figura 32. Flujos de CO₂ del suelo (ug CO₂/g suelo h⁻¹) (respiración del suelo) en las muestras superficiales por cubierta durante el experimento de incubación.

El pico de respiración tuvo lugar en la primera hora tras la activación microbiana (con la adición de agua) en ambas cubiertas, pero cabe destacar que los picos de respiración son entre 6 y 14 veces mayor bajo cubierta vegetal (13.9 ug CO₂.g suelo h⁻¹) que fuera de ella (1.8 ug CO₂.g suelo h⁻¹). Por otra parte, aunque en general la respuesta de la respiración descende con el tiempo, se observa una clara diferencia en la dinámica de los flujos. En el caso del suelo fuera de la cubierta la dinámica descende progresivamente y de forma constante hasta parar prácticamente al final del experimento (0.2 ug CO₂.g suelo h⁻¹), mientras que en suelo bajo cubierta la dinámica es más variada con oscilaciones a lo largo de los 7 días y terminando con un incremento del flujo hasta los 7.3 ug CO₂.g suelo h⁻¹).

Se ha comprobado la relación entre la disponibilidad de carbono y la actividad microbiana mediante rectas de regresión vinculando la actividad con el carbono orgánico total y el extraíble (Figura 33 y 34)

Cuando se relacionan las variables orgánicas con el “pico” de respiración transcurrida una hora de humectar el suelo, se observa que en ambos casos la relación es elevada. En el caso del COT (Figura 33) muestra una R²adj=0.636, que sube hasta R²adj=0.715 en el caso del carbono extraíble (Figura 34). Esto indica la importancia de los flujos de CO₂ o respiración cuando se humedece el suelo principalmente por la disponibilidad de carbono extraíble.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

Cuando se relacionan estas dos mismas variables orgánicas con la sumatoria del CO₂ desprendido a lo largo del experimento (sumatoria flujos 7 días) los resultados muestran también una fuerte relación, pero con algunas diferencias. La relación COT con la sumatoria de los flujos (Figura 35) casi es idéntica, con una $R^2_{adj}=0.629$, mientras que con el carbono extraíble (Figura 36) el ajuste desciende hasta una $R^2_{adj}=0.537$, indicando que en este caso que el carbono extraíble, más fácilmente disponible, no tiene tanta influencia a plazos de tiempo algo más largos.

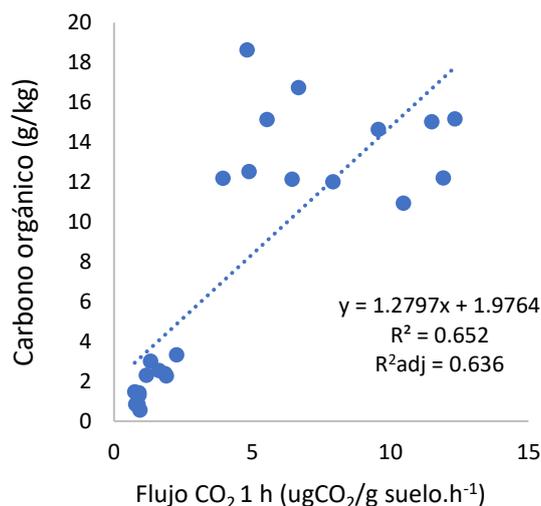


Figura 33. Recta de regresión entre carbono orgánico total (COT) (g/kg) y el flujo de carbono (ugCO₂/g suelo h⁻¹) (respiración) tras 1 hora de humectar el suelo.

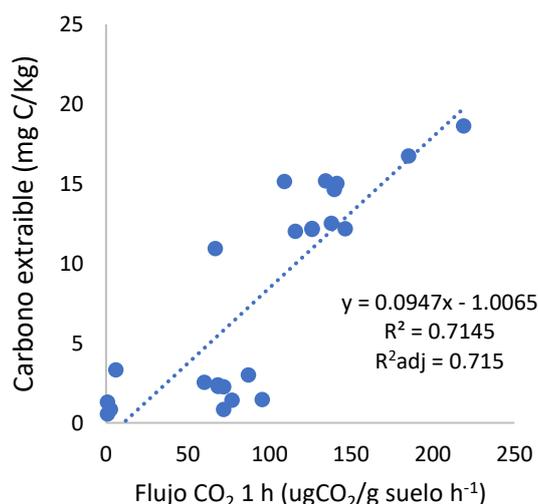


Figura 34. Recta de regresión entre la relación de carbono orgánico soluble o extraíble (mg/kg) y el flujo de carbono (ugCO₂/g suelo h⁻¹) (respiración) tras 1 hora de humectar el suelo.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

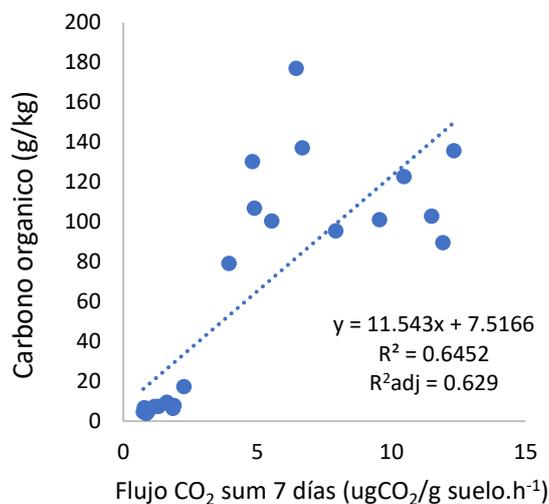


Figura 35. Recta de regresión entre la relación de carbono orgánico total (COT) (g/kg) y de flujo de carbono (ugCO₂/g suelo h⁻¹) (respiración) a los 7 días.

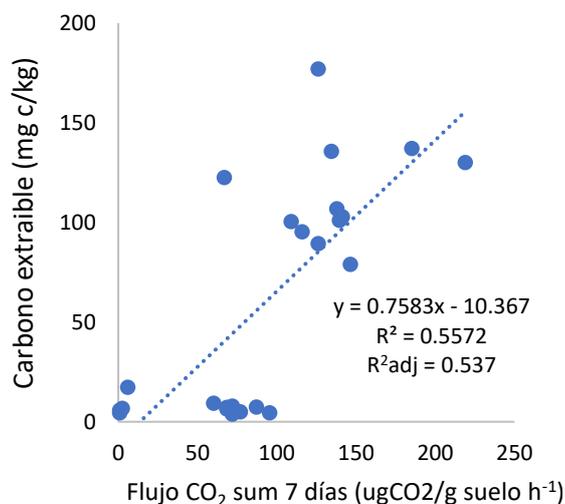


Figura 36. Recta de regresión entre la relación de carbono orgánico soluble o extraíble (mg/kg) y de flujo de carbono (ugCO₂/g suelo h⁻¹) (respiración) a los 7 días.

7. DISCUSIÓN

Las propiedades morfológicas y las propiedades analizadas revelaron que el hábitat del azufaifo (*Ziziphus lotus*) en el Parque Natural Cabo de Gata-Níjar se conforma principalmente de Arenosoles calcáricos y Leptosoles calcáricos, donde los horizontes más destacables son: Ah, AC, C y Cmk. Este tipo de perfiles, con profundidades que varían entre los 20 y 60 cm, son

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

característicos de ambientes semiáridos (Ibañez et al, 2019). También destaca la textura, las arenas fueron la fracción más representativa, coincidiendo con la categoría de Arenosoles (Aguilar 2004, Tirado, 2009), característicos del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar donde destacan como litología los conglomerados, arenas, y areniscas (Rodríguez-Fernández et al., 2015).

Los resultados muestran que la distribución de estos suelos depende del tipo de cubierta, los perfiles más profundos se encontraron bajo el dosel vegetal, correspondiendo a la tipología de Arenosoles calcáricos, mientras que sin cubierta vegetal encontramos estos mismos suelos junto a Leptosoles calcáricos que corresponde a suelos muy poco profundos. También se observan diferencias en los horizontes descritos, así los horizontes Ah fueron más profundos bajo planta mientras fuera de la cubierta vegetal destaca la presencia de horizontes Cmk encostrados. Estas diferencias en profundidad, desarrollo y tipologías de horizontes pueden estar relacionadas con diferentes intensidades de los procesos erosivos, interpretándose que bajo cubierta los suelos han estado más protegidos y se encuentran mejor conservados. Este efecto de protección de la cubierta vegetal está ampliamente recogido en la bibliografía (Puigdefábregas y Sánchez, 1996; Qinmei et al, 2007; Tirado, 2009).

Las propiedades determinadas como indicadoras de calidad también muestran en algunos casos diferencias entre los suelos bajo diferentes cubiertas. Entre las propiedades físicas, las clases texturales no presentan diferencias, ni entre cubiertas ni entre horizontes, con predominio de la fracción arenas previsiblemente relacionado con el material original del suelo, manto eólico, rico en cuarzo que hace difícil su evolución (Rodríguez-Fernández et al., 2015). Otras propiedades físicas vinculadas a la textura, como la retención de agua (Urbano Terrón y Rojo Hernández, 1992) no mostraron diferencias significativas, para los parámetros determinados, el punto de marchitamiento y la capacidad de campo, sin embargo, aunque sin llegar a ser significativos al 95%, sí que se observan diferencias en los datos de agua útil calculados, que mostraron valores mayores en los suelos influenciados por el azufaifo. Esto se observa sobre todo en los horizontes Ah, donde está mejor relación punto de marchitamiento/capacidad de campo hace que la disponibilidad de agua para las plantas en estos suelos sea algo más favorable. En cualesquiera de los casos, los valores de agua útil son muy bajos, incluso para el contexto árido del entorno (Aguilar et al, 2004), como consecuencia de su composición textural.

Sin embargo, sí se observan importantes diferencias en la reserva total de agua de los perfiles, donde sí encontramos valores significativamente mayores bajo cubierta. Esto concuerda con

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

los resultados de la reserva de agua debido a que esta aumenta en función de la profundidad de los perfiles, siendo estos más profundos bajo la cubierta vegetal (Gutiérrez y Squeo, 2004; Padilla, 2008).

En gran parte de los análisis químicos las diferencias tampoco son importantes. El pH tiene valores similares ambas cubiertas y todos los horizontes. Los valores de pH se encuentran siempre próximos a 9, que definen a los suelos como ligeramente alcalinos (Pennock y McKenzie, 2016), y que corresponde a valores normales en ambientes áridos con presencia de carbonatos (Blume y Berkowicz, 1995). Estos resultados concuerdan con los datos de carbonatos y con los análisis de conductividad eléctrica, y ninguno presenta diferencias significativas. En el caso de conductividad eléctrica, los valores son muy bajos indicando niveles bajos de fertilidad y en ningún caso proceso de contaminación (Urbano Terrón y Rojo Hernández, 1992). Los valores ligeramente más altos bajo cubierta estarían indicando algo más de fertilidad mineral en estos suelos. En lo que se refiere a las propiedades relacionadas con la fracción orgánica del suelo las diferencias entre los suelos bajo diferentes cubiertas fueron más apreciables, sobre todo en los horizontes superficiales. La cantidad de carbono orgánico total (COT) fue relativamente mayor bajo cubierta vegetal en las muestras por horizontes, aunque las diferencias no fueron significativas. Sin embargo, se encontraron importantes diferencias en la fracción de carbono orgánico soluble o extraíble, cuya presencia fracción fue mayor en las muestras bajo cubierta vegetal, tanto en el muestreo de los perfiles (Figura 22) como en el muestreo específico de los horizontes superficiales. Esto hace pensar que esta fracción está relacionada con el efecto que ejerce el azufaifo en los flujos de carbono, efecto que podría explicarse por el mayor aporte de biomasa en la superficie del suelo que en climas con una alta radiación como el de la zona, queda expuesto a procesos de fotodegradación. Esto procesos dejaría en los horizontes superficiales gran cantidad de compuestos solubles que se acumularían mientras que la actividad biológica del suelo no los consuma (Austin y Vivanco, 2006). Este efecto también puede estar relacionado con la concentración de nitrógeno y la relación C/N, pues se observaron valores mayores en los suelos bajo *Z. lotus*, aunque no podemos afirmarlo con rotundidad debido a la ausencia de diferencias significativas. Los resultados obtenidos sugieren que las cubiertas vegetales en ambientes semiáridos, como el caso de Cabo de Gata y el hábitat 5220*, influyen en los indicadores de la materia orgánica (carbono y nitrógeno) (Hernan Celaya et al, 2010), siendo más presente en horizontes Ah (Parra et al, 2004). Estos resultados están en línea con la hipótesis de Gutiérrez y Squeo (2004) de que el azufaifo ejerce un efecto isla.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

Los suelos de zonas áridas y semiáridas presentan tasas de nitrificación y desnitrificación por lo general altas (Peterjohn y Schlesinger, 1990), como resultado de la actividad de los microorganismos y temperaturas favorables que potencia los procesos de mineralización en momentos con disponibilidad de agua (Hernan Celaya et al, 2010). Las concentraciones significativamente más altas de nitratos observadas en horizontes superficiales bajo planta podrían estar relacionadas con la cantidad de materia orgánica que aporta *Z. lotus* y los procesos de mineralización que libera estos nutrientes. Este podría ser un efecto de las “islas de fertilidad” que se generaría en estas comunidades y que algunos autores señalan aumentaría el nitrógeno disponible en comparación con los suelos desnudos (Pugnaire et al, 1996; Stubbs y Pyke, 2005).

La concentración de cloruros y sulfatos podría estimar el estado de degradación por contaminación de los suelos (Doran y Parkin 1994), pero los valores encontrados son bajos y no indican ningún proceso específico de contaminación. La tendencia mostró mayor presencia de sulfatos en horizontes superficiales (Ah) sin cubierta vegetal junto con horizontes AC bajo planta, pero no parece que sigan ningún patrón concreto y podría deberse a la presencia puntual de suelos entre el material original. Los cloruros mostraron concentraciones similares en ambas cubiertas y horizontes, con un pequeño incremento en el horizonte Ah bajo cubierta vegetal. El hecho de no haber diferencias significativas permite establecer que desde el punto de vista de la contaminación química el estado de calidad/degradación de los suelos estudiados es similar bajo los dos tipos de cubiertas analizadas.

Sin duda, las mayores diferencias entre los suelos se encuentran en las variables biológicas., La biomasa microbiana fue significativamente mayor bajo cubierta vegetal, hasta casi duplicarse los contenidos de carbono microbiano bajo cubierta respecto a los suelos sin cubierta. Estas diferencias se mantienen cuando observamos las curvas de respiración en el experimento de incubación donde se aprecia que la respiración en los suelos bajo cubierta se caracteriza por un mayor flujo de CO₂ (que indica la respiración del suelo), y más complejo, que los flujos de los suelos sin cubierta que son inapreciables. La respuesta respiratoria basada en la experiencia de West y Sparling (1986) para los análisis de respiración del suelo muestra una mayor actividad microbiana en los suelos bajo planta, teniendo su pico máximo en la primera hora de incubación, y tras la activación de las muestras con agua. Este efecto es destacable debido a que los picos de actividad microbiana en ambientes semiáridos se producen en periodos con el suelo húmedo tras las precipitaciones (Vargas et al, 2018).

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

Estos momentos de actividad microbiana implican la mineralización de la materia orgánica y la liberación de compuestos al suelo (Rey et al, 2011), aumentando la disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno. Los microorganismos aerobios heterótrofos son los mayores liberadores de CO₂ a la atmosfera y resultan muy influyentes en los procesos biogeoquímicos del suelo (Lal, 2004; Ahlstrom et al., 2015).

Según esto los suelos bajo cubierta vegetal va a tener momentos con mayor disponibilidad de nutrientes más prolongados que los suelos fuera de su influencia, apreciándose en estos últimos una actividad muy puntual. La distribución en parches característica de ambientes áridos y semiáridos contribuiría a la heterogeneidad de recursos observada (Austin et al, 2004).

La presencia de una mayor cantidad de materia orgánica, y la respiración bajo planta, que los resultados indican tasas entre 10 y 6 veces superior en suelo bajo cobertura vegetal, permiten establecer una relación directa del *Z.lotus* y su hábitat (Tirado, 2009) que inducen un aumento de microorganismos y un incremento de la calidad del suelo (Sun et al., 2018).

La vinculación entre la disponibilidad carbono y respiración del suelo (y por tanto mineralización) ha quedado establecida por la relación encontrada entre las fracciones de carbono (orgánico total y soluble o extraíble) y los flujos de CO₂ (Figuras 33 a 36) generados por la actividad microbiana. Concretamente de entre un 55 y un 71% de la varianza de los flujos se explica por cambios en las fracciones de carbono disponibles para los microorganismos. Se puede observar que la primera respuesta (1h de incubación) se relaciona más con el carbono extraíble o soluble, fácilmente disponible para los microorganismos, y que favorece una mayor fertilidad a corto plazo, mientras que a más largo plazo (tras 7 días de incubación) la respuesta se vincula más al carbono total, favoreciendo una mayor fertilidad a medio y largo plazo. Según esto en el hábitat de *Z. lotus* los suelos bajo cubierta presentan un incremento de la fertilidad a corto y largo plazo, respecto aquellos que no se encuentra directamente bajo su influencia.

8. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en este trabajo se recogen las siguientes conclusiones:

La morfología de los suelos del hábitat del *Z. lotus* son principalmente Arenosoles y Leptosoles calcáricos de textura principalmente arenosa levemente alcalinas existiendo una relación entre la profundidad de los perfiles y la disponibilidad de agua viéndose aumentada por el efecto que produce el azufaifo a ser una especie freatófita.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

El azufaifo influye directamente en los flujos de carbono disponibles estando ciertamente aumentados bajo dosel, con una relación directa en la cantidad de biomasa microbiana aumentando la disponibilidad de nutrientes y, la implicación en los procesos biogeoquímico-físicos de los suelos de su hábitat, influyendo de manera positiva en los indicadores de calidad y fertilidad relacionados directamente con los flujos de carbono.

De forma general el efecto “isla de fertilidad” que ejerce el *Z. lotus* y su hábitat influye con el buen estado y la conservación de los suelos áridos y semiáridos en base a los indicadores físicos, químicos y biológicos analizados.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Ada, S; Albanesi. (2013). Indicadores de calidad de los suelos. En Microbiología agrícola. Un aporte de la investigación argentina (1-27). Argentina: Editmagna.
- Aguilar Ruíz J., Martín Peinado, F., Sierra Aragón, C., Ortiz-Silla, R., y Oyonarte, C. (2004). Mapa Digital de Suelos Provincia de Almería. Dir. Gral. para la Biodiversidad. Ministerio Medio Ambiente [CD].
- Ahlstrom, A., Raupach, M. R., Schurgers, G., Smith, B., Arneeth, A., Jung, M., Zeng, N. (2015). The dominant role of semi-arid ecosystems in the trend and variability of the land CO₂ sink. *Science*, 348, 895–899.
- Anderson, J.P.E., y Domsch, K.H. (1978) A Physiological Method for the Quantitative Measurement of Microbial Biomass in Soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 11, 215-221.
- Austin, A. T., Yahdjian, L., Stark, J. M., Belnap, J., Porporato, A., Norton, U., y Schaeffer, S. M. (2004). Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems. *Oecologia*, 141(2), 221-235.
- Austin, A.T., y Vivanco, L. (2006). Plant litter decomposition in a semi-arid ecosystem controlled by photodegradation. *Nature* 442(7102):555-8.
- Arrouays, D., y Ranger, J. (2014). Quality of forest soils facing global changes. *Revue Forestiere Francaise*.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

- Astier-Calderón, M., Maass-Moreno, M., y Etchevers-Barra, J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36(5), 605-620.
- Blume, H. P., y Berowicz, S.M. (1995). Arid ecosystems. *Advances in Geocology* (28). Catena suplement 14. Catena Velarg.
- Cabello J., Salinas M. J., Torres M. T., Castro. H. (2015). (Eds.). Manual para el seguimiento del Cambio Global. Una propuesta para ambientes áridos y semiáridos. Fundación Patrimonio Natural, Biodiversidad y Cambio Global. Almería.
- Celaya-Michel, H., y Castellanos-Villegas, A. E. (2011). Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 343-356.
- Campitelli, P., Aoki, A., Gudelj, O., Rubenacker, A., y Sereno, R. (2010). Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia del suelo*, 28(2).
- Cheng, W., y Coleman, D. C. (1989). A simple method for measuring CO₂ in a continuous air-flow system: modifications to the substrate-induced respiration technique. *Soil Biology and Biochemistry*, 21(3), 385-388.
- Cruz, A. B., Barra, J. E., del Castillo, R. F., y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista ecosistemas*, 13(2).
- Doran, J.W., Parkin, T.B., (1994). Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W. (Ed.). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America Special Publication No. 35. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 3 – 21.
- FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. Roma: FAO.
- FAO. (2015). World reference base for soil resources. Roma: FAO.
- García Franco, N. (2014). Mecanismos de secuestro de carbono en suelos semiáridos en función del tipo de uso y prácticas de manejo= Carbon sequestration mechanisms in semiarid soils according to land use and management practices. Proyecto de investigación.
- Guirado Hernández, E. (2015). Factores que afectan a la distribución espacial de vegetación freatofita (*Ziziphus lotus*) en el acuífero costero de Torre García (Sureste de España).

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

- Gutiérrez, J. R., y Squeo, F. A. (2004). Importancia de los arbustos en los ecosistemas semiáridos de Chile. *Revista Ecosistemas*, 13(1).
- Huxman, T. E., Snyder, K. A., Tissue, D., Leffler, A. J., Ogle, K., Pockman, W. T., y Schwinning, S. (2004). Precipitation pulses and carbon fluxes in semiarid and arid ecosystems. *Oecologia*, 141(2), 254-268.
- Ibanez, J.J., Perez-Gomez, R., Oyonarte, C., and Brevik, E.C. (2015). Are There Arid Land Soils in Southwestern Europe? *Land Degradation and Development*. 26 (8): 853 – 862.
- Instituto de Calidad del Suelo (EE. UU). (1999). Guía del kit de prueba de calidad del suelo. Instituto de Calidad del Suelo, Servicio de Conservación de Recursos Nacionales, Departamento de Agricultura de EE. UU.
- Lal, R. (2004). Carbon sequestration in dryland ecosystems. *Environmental Management*, 33, 528–544.
- Le Houérou, H. N. (2006). Agroforestry y silvopastoralism: The role of trees and shrubs (Trubs) in range rehabilitation and development. *Science et Changements Planétaires/Sécheresse*, 17(1), 343–348.
- López-Ballesteros, A., Oyonarte, C., Kowalski, A. S., Serrano-Ortiz, P., Sánchez-Cañete, E. P., Moya, M. R., y Domingo, F. (2018). Can land degradation drive differences in the C exchange of two similar semiarid ecosystems? *Biogeosciences*, 15(1), 263-278.
- López-Rodríguez, M. D., Salinas-Bonillo, M. J., Torres, M. T., Pacheco-Romero, M., Guirado, E., Nogueira, H. C., y Cabello, J. (2020). Impulsando estrategias colectivas ciencia-gestión-sociedad para conservar el hábitat de *Ziziphus lotus* (Hábitat Prioritario 5220). *Revista Ecosistemas*, 29(1).
- Moncayo-Riascos, M. C., y Gálvez-Cerón, A. (2018). Islas de fertilidad: una revisión sistemática de su estructura y operación. *Idesia (Arica)*, 36(1), 115-122.
- Mundial, B., y Ambiente, M. (2001). Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural.
- Oliet, J. A., Artero, F., Cuadros, S., Puértolas, J., Luna, L., y Grau, J. M. (2012). Deep planting with shelters improves performance of different stocktype sizes under arid Mediterranean conditions. *New Forests*, 43(5), 925-939.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

- Paolini Gómez, J. E. (2018). Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos. *Terra Latinoamericana*, 36(1), 13-22.
- Parra, J. G., y Villar, M. A. C. (2004). Materia orgánica de suelos bajo encinas. Mineralización de carbono y nitrógeno. *Forest Systems*, 13(4), 75-83.
- Pennock, D., y McKenzie, N. (2016). Estado mundial del recurso suelo. Roma: FAO.
- Pugnaire, F.I., Haase, P. and Puigdefabregas, J. (1996). Facilitation between Higher Plant Species in a Semiarid Environment. *Ecology*, 77 (5): 1420-1426.
- Qinmei, Z., Cheng, Z., Maosong, L., Wen, Y., Chi, X., Hanjie, W. (2007). The influences of arboraceous layer on spatial patterns and morphological characteristics of herbaceous layer in an arid plant community. *Acta Ecologica Sinica*, 27 (4): 1265-1271.
- Quirante, C. S. (2019). Efectos de los cambios de uso del suelo en las propiedades edáficas bajo clima semiárido (Doctoral dissertation, Universidad de Granada).
- Rodríguez-Fernández, L. R., López-Olmedo, F., Oliveira, J. T., Medialdea, T., Terrinha, P., Matas, J., Martín-Serrano, A., Martín-Parra, L. M., Rubio, F., Marín, C., Montes, M. and Nozal, F.: Mapa geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias a escala 1/1.000.000, Instituto Geológico y Minero de España (IGME), (2015).
- Sun, Q. Q., Shi, K., Damerell, P., Whitham, C., Yu, G. H., & Zou, C. L. (2013). Carbon dioxide and methane fluxes: Seasonal dynamics from inland riparian ecosystems, northeast China. *Science of the Total Environment*, 465, 48–55.
- Sun, Q., Meyer, W. S., y Marschner, P. (2018). Repeated rainfall in summer induces prolonged high soil respiration in a semi-arid floodplain woodland. *Ecohydrology*, 11(7), e1984.
- Stubbs, Michelle y Pyke, David. (2005). Available nitrogen: A time-based study of manipulated resource islands. *Plant and Soil*. 270. 123-133. 10.1007/s11104-004-1306-0.
- Tirado, R. (2009). 5220. Matorrales arborescentes con *Ziziphus* (*). En: VV.AA., Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 68 p.
- Torres - García, MT, Salinas - Bonillo, MJ, Gázquez - Sánchez, F., Fernández - Cortés, Á., Querejeta, JI, y Cabello, J. (2021). Squandering water in drylands: The water-use

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

strategy of the phreatophyte *Ziziphus lotus* in a groundwater-dependent ecosystem. *American Journal of Botany*, 108 (2), 236-248.

Urbano Terrón, P. y Rojo Hernández, C. (1992). *Condiciones del suelos y desarrollo de las plantas según Russell* (vers. española). Ediciones Muni-Prensa. Madrid (1045 pp.

Vargas, R., Sánchez-Cañete, E., Serrano-Ortiz, P., Curiel Yuste, J., Domingo, F., López-Ballesteros, A. and Oyonarte, C. (2018). Hot-Moments of Soil CO₂ Efflux in a Water-Limited Grassland. *Soil Syst*, 2(3), 47.

Vinton, M. A., y Burke, I. C. (1995). Interactions between individual plant species and soil nutrient status in shortgrass steppe. *Ecology*, 76(4), 1116-1133.

West, A. W., y Sparling, G. P. (1986). Modifications to the substrate-induced respiration method to permit measurement of microbial biomass in soils of differing water contents. *Journal of Microbiological Methods*, 5(3-4), 177-189.

10. ANEXOS

Anexo 1. Tabla descripción morfológica de los perfiles

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

Tabla 1. Descripción morfológica de los perfiles realizados para el estudio siguiendo la guía descriptiva de la FAO (2009).

Zona ⁽¹⁾	Código Perfil	Horizonte	Cubierta ⁽²⁾	Intervalo-Profundidad (cm)	Profundidad (cm)	Textura	Estructura	Consistencia	Porosidad	Fragmentos rocosos	Raíces	Reacción calcárea	Límites
Arenosol calcárico (WRB, 2015) ⁽³⁾													
	P11	Ah	F	0-14	14	Arenosa	Moderada, bloques subangulares, medios	No plástica, no adherente, muy friable, blando	Alta, vesicular, muy fina	Pocos, no alterados, redondeadas	Pocas finas; muy pocas medias; gruesas	Fuerte	No
	P12	C	F	>14	ND	Arenosa	No compacta	No adherente, no plásticos, muy friable y suave	Muy alta, vesicular, muy finos y finos	No	Algunas finas	Fuerte	No
Arenosol calcárico													
RB	P21	Ah	D	0-20	20	Arenosa	Bloques subangulares, finos, débiles	No adherente, no plásticos, muy friable y suave	Muy alta, vesicular, muy finos y finos	No	Muchas muy finas; comunes medias; pocas gruesas	Fuerte	Gradual de forma plana
	P22	AC	D	20-42	22	Arenosa	Sin estructura	No adherente, no plástica, no cohexionantes	Muy alta, vesicular, muy finos y finos	No	Comunes, finas y muy finas, y pocas gruesas	Fuerte	Gradual de forma plana
	P23	C	D	> 42	ND	Arenosa	Sin estructura	No adherente, no plástica, no cohexionantes	Muy alta, vesicular, muy finos y finos	No	Comunes; finas; muy finas; pocas gruesas	Fuerte	No
Leptosol calcárico													
PZ	P31	Ah	F	0-15	ND	Franco arenoso	Bloques subplanares,	Ligeramente adherente, ligeramente	Alta, vesicular, fino medio	Abundantes, medios,	Muy pocas finas; medias	Fuerte	Ondulado de

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

						finos, moderados	plástico, friable y ligeramente duro		redondeados no alterados		forma plana		
	P32	Cmk	F	> 15									
	Arenosol calcárico												
	P41	Ah	D	0-23	23	Areno limoso	Débil, agregados en bloques subplanares, pequeños	Ligeramente adherente, no plásticos, muy fiable y suave	Alta, intersticial, finos frecuentes, vesiculares medios	Muchos, gruesos, redondeados no alterados	Muchas muy finas; finas; muy pocas gruesas	Fuerte	Gradual de forma plana
	P42	Bw	D	23-58	35	Arenosa	Débil, agregados en bloques subplanares, pequeños	Ligeramente adherente, no plásticos, muy fiable y suave	Alta, intersticial, finos frecuentes, vesiculares medios	Muchos, gruesos, redondeados no alterados	Muchas muy finas; finas; muy pocas gruesas	Fuerte	Gradual de forma plana
	P43	C	D	>58	ND	Arenosa	sin estructura	no adherente, no plástica y no cohesionantes	Alta, intersticial, finos frecuentes, vesiculares medios	No fragmentos gruesos	Comunes; finas; muy finas	Fuerte	Sin límite de forma plana
	Arenosol calcárico												
AB	P51	Ah	F	0-20	20	Arenosa	Sin estructura	No coherente, no adherente y no plástico	Alta, muy finos	No	Muchas medias; comunes; finas; pocas gruesas	Moderada	Gradual de forma plana
	P52	C	F	20-50	30	Arenosa	Sin estructura	No coherente, no adherente y no plástico	Alta, muy finos	No	No	Moderada	No
	Arenosol calcárico												

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

	P61	Ah	D	0-20	20	Arcillosa	Sin estructura, simple, granos	No coherente, no adherente y no plástico	Alta, muy finos	No	Muchas finas; comunes medias; pocas gruesas	Fuerte	Gradual de forma plana
	P62	AC	D	20-50	30	Arcillosa	Sin estructura	No coherente, no adherente y no plástico	Alta, muy finos	No	Pocas medias; finas	Moderada	Difuso de forma plana
	P63	C	D	>70	ND	Arcillosa	Sin estructura, simple, granos	No coherente, no adherente y no plástico	Alta, muy finos	No	Sin raíces	Moderada	No
Leptosol calcárico													
	P71	Ah	F	0-14	14	Arenolimoso	Bloques subangulares medianos, moderado a fuerte	Ligeramente adherente, ligeramente plástica, firme y duro	Alta, intersticial, fino y muy fino	Pocos, grava fina, subredondados, no alterados	Muy pocas finas	Fuerte	Abrupto de forma plana
	P72	Cmk	F	>14									
Arenosol calcárico													
TG	P81	Ah	D	0-25	25	Arenosa	Sin estructura	No coherente, no adherente y no plástico	Muy alta, vesiculares finos y muy finos	No	Muchas muy finas; muchas finas; muchas gruesas	Moderada	Gradual de forma plana
	P82	AC	D	25-50	25	Arenosa	Sin estructura	No coherente, no adherente y no plástico	Muy alta, vesiculares finos y muy finos	No	Muchas finas; medias; pocas gruesas	Moderada	Gradual de forma plana
	P83	C	D	>50	ND	Arenosa	Sin estructura	No coherente, no adherente y no plástico	Muy alta, vesiculares finos y muy finos	No	Comunes; finas; medias	Moderada	No

(1) R: rambla, PZ: pozo, AB: albergue, TG: Torregarcía.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

(2) F: fuera/sin cubierta vegetal, D: dentro/bajo cubierta vegetal.

(3) Referencia bibliográfica.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.

Anexo 2. Fotografías de las calicatas



Calicata de la zona de Rambla (RB) fuera (F) de cubierta vegetal.



Calicata de la zona de Rambla (RB) dentro (D) de cubierta vegetal.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.



Calicata de la zona de Pozo (PZ) fuera (F) de cubierta vegetal.



Calicata de la zona de Pozo (PZ) dentro (D) de cubierta vegetal.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.



Calicata de la zona de Alberque (AB) fuera (F) de cubierta vegetal.



Calicata de la zona de Alberque (AB) dentro (D) de cubierta vegetal.

La calidad del suelo en el hábitat del *Ziziphus lotus*. Efecto de las “islas de fertilidad”.



Calicata de la zona de Torregarcía (TG) fuera (F) de cubierta vegetal.



Calicata de la zona de Torregarcía (TG) dentro (D) de cubierta vegetal.