

---

# CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS EN SISTEMAS DE GANADERÍA TRASHUMANTE



IRENE CARRASCO GRAO

TFG TUTORIZADO POR: MARÍA FUENSANTA GARCÍA ORENES Y JOMAR  
MAGALHES BARBOSA  
DEPARTAMENTO DE AGROQUÍMICA Y MEDIO AMBIENTE Y BIOLOGÍA APLICADA  
CÓDIGO DE INVESTIGACIÓN RESPONSABLE: 230603021845





Agradecimientos:

Primeramente, me gustaría agradecer el apoyo y dedicación de mis tutores, Fuensanta García Orenes y Jomar Magalhaes Barbosa para llevar a cabo la realización de este trabajo.

También me gustaría darle las gracias a Evan Marks por su ayuda y constancia; y a Vicky Arcenegui Baldo en el laboratorio.

Agradecer al profesorado que tanto me ha enseñado a lo largo de la carrera que también ha hecho posible poder llegar hasta aquí.

Y por último y no menos importante, gracias a mi familia ya amigos por el apoyo recibido; y sobre todo agradecer a mis compañeros de mi promoción que me han acompañado a lo largo de los años de universidad.



# ÍNDICE

Resumen: .....	1
INTRODUCCIÓN .....	3
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	9
MATERIAL Y MÉTODOS.....	10
Zona de estudio .....	10
Diseño experimental .....	11
Toma de muestras .....	12
Análisis en el laboratorio .....	13
Análisis estadístico .....	14
RESULTADOS.....	15
DISCUSIÓN .....	26
CONCLUSIÓN .....	30
BIBLOGRAFÍA.....	31



## Resumen:

El pastoreo extensivo consiste en una práctica de ganadería donde los rebaños se alimentan de forma libre en áreas amplias y abiertas de pastizales. La ganadería extensiva trashumante, en particular, preserva los paisajes culturales y la identidad tradicional de zonas productivas. Sin embargo, poco se sabe sobre su efecto en la conservación de procesos ecosistémicos y degradación de los suelos. Por lo tanto, estudiar su impacto sobre los suelos ofrece los conocimientos necesarios para desarrollar estrategias que promuevan la sostenibilidad ambiental y conservación del ecosistema Mediterráneo. El presente estudio se centra en investigar las propiedades del suelo que se ven afectadas por la acción del ganado doméstico (ovejas) en un sistema trashumante, analizando de esta manera si se producen cambios significativos en las propiedades del suelo en función de las condiciones de pastoreo establecidas. Para llevar a cabo el estudio, se han seleccionado dos rebaños que pastorean en los “Campos de Hernán Perea” del Parque Natural de la Sierra de Cazorla y Las Villas, en el municipio de Pontones. Se recopiló información de campo de la actividad de los dos rebaños y se recogieron muestras de suelo en función de los distintos niveles de intensidad del pastoreo (alto, medio y bajo). Según los resultados, la mayor presión ganadera facilita el reciclaje de nutrientes y residuos (ciclo de nutrientes). Los resultados reflejan cambios en propiedades edáficas de las zonas pastoreadas según el tamaño de rebaño. Mientras tanto, en la evaluación de los distintos niveles de intensidad de pastoreo se han observado diferencias significativas en el contenido de nitrógeno y en la estabilidad de los agregados, lo que afirma que el pastoreo puede contribuir en la formación de agregados estables, mejorando de esta manera la estructura del suelo.

**Abstract:**

Extensive grazing is a livestock husbandry practice where herds graze freely in large, open areas of grassland. Extensive transhumant livestock farming preserves cultural landscapes and the traditional identity of productive areas. However, little is known about its effect on the conservation of ecosystem processes and soil degradation, while promoting the conservation of biodiversity. However, few studies evaluate the effect of extensive livestock production in the environmental sustainability and soil conservation at Mediterranean regions. The present study focuses on investigating the soil properties that are affected by the action of domestic herbivores, thus analyzing whether significant changes in soil properties occur as a function of the grazing conditions established. To carry out the study, two herds grazing in the "Campos de Hernán Perea" of the Sierra de Cazorla y Las Villas Natural Park, in the municipality of Pontones, were selected. Field information was collected on the activity of the two herds and soil samples were collected according to the different levels of grazing intensity (high, medium and low). According to the results, and in the herds studied, the increased grazing pressure facilitates the recycling of nutrients and residues (nutrient cycling). The results reflect an improvement in edaphic properties in the grazed areas according to herd size. Meanwhile, in the evaluation of different levels of grazing intensity, significant differences in nitrogen content and aggregate stability were observed, which affirms that grazing can contribute to the formation of stable aggregates, thus improving soil structure.

**Palabras clave:** rebaños, nivel de intensidad, ganadería extensiva, propiedades del suelo, tamaño de los rebaños.

## INTRODUCCIÓN

La ganadería extensiva es una actividad tradicional socioeconómica basada en el aprovechamiento de los recursos naturales locales, que utiliza razas autóctonas habituadas a la orografía y al clima presentes en el terreno que ocupa el ganado. Esta práctica se desarrolla a partir de estrategias de movilidad por pastoreo y gracias al conocimiento del medio ambiente que se ha ido perfeccionando a través de las generaciones de las familias de ganaderos. La trashumancia es el modelo de pastoreo extensiva en la que los animales están en continuo movimiento y se adaptan al medio en función de la productividad estacional de las especies vegetales. La creciente preocupación por el impacto humano en los sistemas naturales y seminaturales crea una importante demanda por estudios que evalúan el papel de actividades productivas tradicionales sobre el ecosistema, ya que el sobrepastoreo ha sido uno de los principales contribuyentes a la degradación de los suelos y su desertificación (Zhou et al., 2017).

Hoy en día, la población es más consciente de la importancia de los servicios que ofrecen los ecosistemas, por lo que se busca fomentar el desarrollo de prácticas que proporcionen el cuidado y conservación de los mismos. La ganadería extensiva a partir del pastoreo controlado puede contribuir de manera positiva al mantenimiento de la integridad de los ecosistemas naturales, ya que proporcionan servicios como: la conservación de la fertilidad en los suelos (Ray et al., 2014; De Santiago et al., 2022), la mitigación de los GEI (Soussana et al., 2010; Picasso et al., 2014), la regulación de los ciclos biogeoquímicos (Morra et al., 2023) y/o la contribución en la diversidad vegetal (Álvarez et al., 2022). La ganadería extensiva está asociada con sistemas de manejo más sostenibles en comparación con la intensiva. Estos sistemas incluyen prácticas como la rotación del pastoreo y el descanso de los terrenos, lo que permite que la vegetación se recupere y se mantenga un equilibrio en el uso de los recursos naturales.

Sin embargo, se estimó que el sector ganadero es responsable de aproximadamente el 14,5 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEIs) debido a la actividad humana, según un informe de la FAO titulado “Soluciones ganaderas para el Cambio Climático” publicado en 2018. Además, se ha identificado que alrededor del 70% de la superficie terrestre se destina al cultivo de alimento para el ganado, considerada como la principal causa de deforestación a nivel mundial. Al comprender las diferencias entre los distintos sectores de producción ganadera y sus consecuencias sobre el suelo, se contribuye al desarrollo de prácticas ganaderas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, donde se espera que la ganadería extensiva es una opción favorable.

Por otro lado, de acuerdo con un estudio reciente realizado por la FAO, se ha observado que la implementación de prácticas de pastoreo controlado puede aumentar el secuestro de carbono orgánico en los suelos (CO). Según los hallazgos obtenidos, se plantea que en los pastizales disponibles, el contenido de CO en las capas de 0-30 cm de profundidad podría aumentar en un 0,3% después de 20 años de aplicación de estas prácticas ganaderas. Estos resultados indican la posibilidad de incrementar aproximadamente 0,3 toneladas de carbono por hectárea anualmente (FAO, 2023).

Los sistemas pastoriles o silvopastoriles pueden reducir o compensar las emisiones de GEI (Soussana et al., 2010) en el caso de aplicar las prácticas de manejo adecuadas a las condiciones locales. La fuente principal de reducción de las emisiones es el secuestro de carbono de los suelos, pero los cambios en el carbono del suelo siguen siendo objeto de discusión. El estudio de 2023 por la FAO (FAO, 2023) propone una especial atención a la creación de metodologías para asignar las reservas de SOC a las distintas unidades ganaderas, teniendo en cuenta la dinámica temporal y espacial del carbono en el suelo. Esto permitiría una evaluación precisa del ciclo de vida de los sistemas ganaderos, así como la implementación de políticas a nivel nacional orientadas al sector ganadero para la mitigación del cambio climático.

En escenarios de cambio climático, los ambientes áridos y semiáridos son muy vulnerables, lo que junto a los efectos negativos que provoca una mala gestión del pastoreo, por sobrepastoreo genera consecuencias que pueden ser muy desfavorables. Pero los efectos del ganado sobre el suelo y la vegetación se encuentran en constante discusión. Se han llevado a cabo numerosos estudios a nivel global que interpretan si los resultados de la ganadería son de carácter positivo o negativo sobre las propiedades del suelo. Sin embargo, no encontramos suficientes referencias sobre el efecto de la ganadería trashumante en los ecosistemas mediterráneos.

A nivel global se han estudiado los efectos de la ganadería extensiva en los suelos (Dlamini et al., 2016; Ibáñez-Alvarez et al., 2022; Xu et al., 2023). Los patrones de pastoreo intensivo y/o inapropiados generan un impacto sobre las reservas de carbono en el suelo (Yu et al., 2021; Cui et al., 2021; Dondini et al., 2023), las concentraciones de nutrientes en sus diferentes formas (Rivero et al., 2013; Zhou et al., 2017, Morra et al., 2023) y la actividad de los microorganismos que habitan el suelo (Núñez et al., 2012; Mora et al., 2015; Xu et al., 2023). Existen investigaciones que han evidenciado que el sobrepastoreo a causa de altas cargas ganaderas constituye una de las principales causas de degradación de suelos y vegetación (Cheli et al., 2016). Por el contrario, tras llevar a cabo la evaluación de los sistemas que evolucionaron

con altas presiones de herbívoros tanto domésticos como silvestres, se ha determinado que la ganadería a cargas comerciales puede ser compatible con la conservación de la biodiversidad y los suelos, e incluso necesaria (Cingolani et al., 2008). Esto es debido a la heterogeneidad del paisaje y a la complejidad de evaluar las respuestas de las propiedades edáficas en función de los parámetros estudiados.

Hongwei y colaboradores (2023) evaluaron la intensidad y duración del pastoreo como factores determinantes en la abundancia de carbono orgánico y carbono de la biomasa microbiana. A partir del análisis realizado se llega a la conclusión de que estos parámetros, ligados con el concepto de la salud del suelo, se ven afectadas considerablemente con la duración e intensidad de pastoreo prolongadas. Sin embargo, en el estudio de Reinhart et al., 2021 se detectaron mayores reservas de carbono orgánico en las áreas pastoreadas que en las no pastoreadas. En comparación con el pastoreo nulo, en las zonas de actividad moderada del ganado, aumenta el contenido de carbono orgánico en los suelos.

Por otro lado, diferentes estudios muestran resultados contradictorios a la hora de evaluar los efectos de la ganadería extensiva sobre el contenido de nitrógeno en el suelo. Mientras que en el estudio de Zhou de 2017 se observó una disminución de las ganancias de nitrógeno en el suelo como consecuencia del pastoreo; en otro estudio se ha observado el efecto contrario (Morra et al., 2023). Se espera que la disminución de la disponibilidad de N provoca el desequilibrio de nutrientes del suelo y afecta a los procesos de mineralización y descomposición de la materia orgánica (Chaplot et al., 2021). En general sería necesario hacer más estudios para comprobar el efecto del pastoreo en el balance nutricional del suelo.

No obstante, para evaluar los efectos del ganado en las propiedades y características del suelo se debe tener en cuenta los factores de duración e intensidad del pastoreo. La acción mecánica del pisoteo del ganado provoca la compactación del suelo, afectando únicamente a los horizontes más superficiales (Bell et al., 2011). Esta consecuencia se agrava con el período de tiempo de pastoreo (Van der Heyde et al.; 2017) y conduce a su degradación, ya que desaparecen las barreras de protección (se reduce la rugosidad del suelo y la presencia de vegetación). Esa hipótesis se corrobora en el estudio de Dias et al., 2019 que compara distintas presiones de pastoreo. Se evidencia que el pisoteo continuo a intensidades altas de pastoreo y a corto plazo altera la estructura del suelo, aumentando la densidad aparente y por tanto favoreciendo la compactación del mismo. Por consiguiente, el pisoteo condiciona la disponibilidad de agua, ya que se reduce la tasa de infiltración al disminuir el volumen y distribución de los poros que conforman los agregados estables.

Cabe resaltar la conexión entre el suelo y la vegetación debido a la retroalimentación bidireccional que se produce entre ambos. Mientras que las raíces de las plantas contribuyen a la estructura del suelo y su conservación, el suelo le ofrece un medio de soporte a la vegetación donde obtiene los recursos necesarios. Por lo tanto, los efectos del pastoreo sobre el suelo están directamente relacionados con las respuestas de las plantas (Aldezabal et al., 2002). Los herbívoros modifican la composición, estructura y patrones de crecimiento de las comunidades vegetales, afectando al rendimiento reproductivo de las especies preferidas, por lo que contribuyen a las tasas de extinción-colonización de especies (Álvarez et al., 2022). Pero la respuesta del compartimento suelo-vegetación a los patrones de pastoreo también se ve afectada por el clima. El crecimiento de los pastos está limitado por el régimen de precipitación y contenido de humedad edáfica, por lo que en ambientes áridos y semiáridos existe un riesgo ecológico si no se llevan a cabo medidas de control en el manejo del pastoreo, debido a la variabilidad en la disponibilidad de pastos.

La pérdida de la cubierta vegetal es un factor clave en los procesos de erosión de los suelos en el Mediterráneo (Cerdá, 2002). Esto puede conducir a la reducción en la disponibilidad de refugio y alimento de otros seres vivos, lo que altera las interacciones ecológicas de los ecosistemas; e incluso puede desencadenar cambios en la estructura y funcionamiento de estos. Además, las especies vegetales resistentes al pastoreo que dominen el terreno pueden provocar la simplificación del paisaje, disminuyendo de esta manera la heterogeneidad y la capacidad de respuesta del ecosistema de pastizales a las perturbaciones (Pérez, 2004).

Una de las estrategias empleadas para mejorar las condiciones de los pastizales en las zonas semiáridas, que tradicionalmente han sido pastoreadas de manera continua, es la implementación del pastoreo rotativo. Este sistema de pastoreo extensivo tiene como objetivo fomentar la recuperación del suelo y la recuperación de la cobertura vegetal mediante la exclusión temporal del pastoreo en zonas de descanso denominadas potreros. Mediante la distribución espacial y temporal de los periodos de descanso y del uso de los pastizales, se busca conseguir la recuperación gradual de cada zona de potrero. En los periodos de descanso, el suelo y la vegetación se benefician debido a la disminución de la presión de pastoreo, permitiendo de esta manera su regeneración y mejora (Guadalupe et al., 2007). Este enfoque de manejo del pastoreo ha demostrado su efectividad en la conservación e incluso restauración de los pastizales de zonas áridas y semiáridas, asegurando la utilización sostenible de los recursos que proporciona la ganadería extensiva.

Las evidencias científicas recopiladas en los estudios mencionados anteriormente presentan resultados que llegan a ser contradictorios, mostrando unas conclusiones de los efectos del pastoreo que no están totalmente definidas debido a la falta de investigación del tema, especialmente en los ecosistemas mediterráneos. Esto se debe a la diversidad de factores que influyen en el impacto de la herbivoría sobre el suelo. Por tanto, podemos inferir que las propiedades del suelo responden de forma distinta a diversas cargas ganaderas de pastoreo, influenciadas a su vez por la acción del clima y la vegetación presente. Es crucial profundizar en la investigación de los efectos de los ungulados en el suelo, ya que sería de gran utilidad para mejorar las prácticas de manejo del ganado de los ecosistemas de pastizales.

La finalidad del presente estudio consiste en determinar el grado de influencia de la herbivoría sobre el suelo, en un sistema de ganadería extensiva. El principal objetivo consiste en analizar las diferentes características y propiedades químicas, físicas y microbiológicas del suelo en las áreas donde los rebaños están presentes; para posteriormente evaluar su impacto en función de dos factores: la carga ganadera y la actividad de los rebaños. La primera hipótesis planteada afirma que las diferentes propiedades del suelo se ven afectadas por el tamaño de los rebaños, por lo que se evalúan si el número de ovejas tiene un efecto significativo en las propiedades del suelo diferenciando entre dos rebaños, uno de mayor carga ganadera que el otro. La segunda hipótesis afirma que los distintos niveles de actividad condicionan los parámetros del suelo; por lo tanto, se establece una comparativa entre las zonas de máxima actividad, de media actividad y de menor actividad.

Para la evaluación del status del suelo se han utilizado una serie de variables como son la respiración de los microorganismos que componen el suelo, las características fisicoquímicas y la biomasa microbiana. Por lo tanto, el presente estudio sirve para comparar los resultados de las propiedades del suelo en áreas con diferentes niveles de actividad de los rebaños, para determinar de esta manera si existe una relación significativa entre los parámetros del suelo y el pastoreo.

En los resultados analizados sobre las características del suelo esperamos observar cambios en las variables en función del tamaño de los rebaños y de los niveles de actividad, debido a los impactos directos e indirectos que el pastoreo tiene sobre la estructura del suelo, el ciclo de nutrientes y la actividad microbiana. La principal diferencia entre los dos rebaños radica en el número de individuos del cual está formado; en este sentido, debido a los conocimientos existentes sobre los posibles efectos del ganado sobre los procesos de degradación y la calidad del suelo, en el rebaño más numeroso esperábamos ver un conjunto de

características en el suelo que indicarían pérdidas en los parámetros asociados con la calidad del suelo y vitalidad (testado en hipótesis 1).

Por otra parte, el análisis de las propiedades del suelo diferenciando las muestras en función de los niveles de actividad de los rebaños, sirve para determinar el grado de influencia que ejercen los rebaños sobre el suelo. Con este seguimiento, se espera que en las zonas de alta actividad de los rebaños, los resultados sean considerables (testado en hipótesis 2); debido al aporte de nutrientes y materia orgánica a causa de la presencia de los rebaños. A su vez, se observarán cambios en la actividad microbiana y en la estructura del suelo. Por lo tanto, los cambios en la estructura del suelo, alteraciones en el contenido de nutrientes y modificaciones en la actividad microbiana en las zonas de actividad de los rebaños variarán en función de la carga ganadera (tamaño de los rebaños) y de la actividad de los mismos.

El estudio además tiene la intención de contribuir a la investigación sobre la correcta gestión de los sistemas agroganaderos extensivos, para obtener un alto grado de sostenibilidad en escenarios futuros de cambio climático. Permitiendo de esta manera una mejor comprensión de los impactos del pastoreo en las propiedades del suelo, proporcionando información relevante para desarrollar prácticas de manejo del ganado que sean sostenibles y que minimicen los efectos negativos. Para ello, además de comprender la relación suelo-planta-herbívoro, es necesario entender cómo funciona el ecosistema natural y cómo afecta el ganado trashumante sobre el mismo, considerando además los efectos climáticos en la vegetación y los suelos.

## HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

La finalidad del presente estudio consiste en la evaluación de los efectos de la ganadería extensiva en las propiedades y características del suelo, para ello se han evaluado diferentes parámetros químicos, físicos y biológicos, que se consideran relevantes en el suelo (contenido de carbono orgánico, contenido de nitrógeno total, contenido de fósforo asimilable, estabilidad de los agregados, contenido de agregados totales, densidad aparente, carbono de la biomasa y respiración edáfica basal). El objetivo específico es la evaluación de dichos efectos en distintas presiones de pastoreo de los rebaños.

La primera hipótesis planteada afirma que la carga ganadera de los rebaños en el pastoreo extensivo condiciona las propiedades del suelo. Para ello estudiamos el tamaño de los rebaños como factor limitante de las alteraciones causadas en las variables analizadas del suelo.

Por otra parte, la segunda hipótesis corrobora que los distintos niveles de intensidad de los rebaños influyen en las propiedades del suelo. Por consiguiente, evaluamos la actividad de los rebaños, diferenciada según las observaciones en campo.

De esta manera observamos el efecto que produce el pastoreo extensivo de estos rebaños, evaluando el impacto de la carga ganadera y del nivel de actividad en las variables del suelo. El pastoreo puede ocasionar cambios en la estructura del suelo y contribuir a su compactación. Además, es importante considerar que puede alterar los ciclos de nutrientes, lo cual a su vez afecta a la actividad microbiana de los organismos presentes en el suelo.

Consideramos que este trabajo ayudará a alcanzar el cumplimiento de algunos de los ODS de la Agenda 2030, contribuyendo específicamente en el desarrollo de diferentes metas en los siguientes objetivos del desarrollo sostenible:

- 1. Fin de la Pobreza.
- 2. Hambre Cero.
- 11. Ciudades y Comunidades Sostenibles.
- 12. Producción y Consumo Responsables.
- 13. Acción por el Cambio Climático.
- 15. Vida de Ecosistemas Terrestres.
- 17. Alianzas para lograr los Objetivos.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Zona de estudio

El presente proyecto está ubicado en el **Parque Natural de las Sierras de Cazorla y Las Villas**, que cuenta con una extensión de 2.143 km<sup>2</sup>. Se trata de una región montañosa del sureste de España, cuyo clima es mediterráneo, caracterizado por presentar un promedio de precipitaciones de 1.209 mm; la temperatura media anual mínima es de 12 y la máxima de 16 °C. Durante el invierno las precipitaciones son abundantes, pero en los meses de junio a septiembre aumentan las temperaturas y la sequía es recurrente.

El Parque Natural fue declarado Reserva de la Biosfera en 1983 por la U.N.E.S.C.O. y cuenta con la figura de protección de la biodiversidad de ZEPA (Zona de Especial Protección para las Aves); además de estar reconocida en la CETS (Carta Europea de Turismo Sostenible).

El área de estudio se encuentra en la parte más alta del Parque, localizada dentro del término municipal de Santiago-Pontones (Jaén). Se corresponde con un paisaje de meseta que presenta vegetación semi-natural, conocida con el nombre de “**Campos de Hernán Perea**” con una altitud media de 1.697 m. Presenta un paisaje de altiplano kárstico caracterizado por los accidentes geográficos propios de este tipo de geología, como son las dolinas y los lapiazes. Encontramos sustratos calcáreos, en su mayoría dolomías; donde son comunes observar Calcic Luvisols (WRB, 2022) sobre depósitos coluviales de la meteorización de la roca caliza.



Figura 1: Localización de la zona de estudio “Campos de Hernán Perea”, imagen aérea de España (Fuente: Google Earth).

El ganado trashumante extensivo está compuesto por varios rebaños de ovejas que se establecen en la zona cubierta de pastos comunales en los meses de mayo o junio, hasta noviembre. En la temporada de invierno, los rebaños se trasladan a la Sierra de Andújar localizada a 130 km de la zona estudiada. Por tanto, se diferencian dos temporadas; una en presencia del ganado o período de actividad, y otra en ausencia de los rebaños. La composición del ganado consta principalmente de ovinos (*Ovis aries*), aunque también encontramos otras especies de distintos grupos de herbívoros como los caprinos (*Capra aegagrus hircus*), los bovinos (*Bos taurus*) y los caballos (*Equus ferus caballus*). Existe una pequeña proporción de ganado extensivo sedentario y ungulados salvajes que utilizan el pasto durante todo el año.

La vegetación más representativa del Parque son especies herbáceas y matorrales, donde encontramos pastizales xerófilos perennes, siendo Lygeo-stipetea la comunidad vegetal destacada. También podemos observar otros pastizales mesófilos y xero-mesófilos, donde abundan caméfitos de pequeño tamaño (*Astragalus sp.*, *Helianthemum sp.*) y matorrales almohadillados (*Genista longipes*, *Erinacea anthyllis*). El estrato arbustivo es de carácter disperso y está compuesto en su mayoría por especies de coníferas del género *Juniperus sp.* Por último, cabe destacar la presencia de la especie arbórea *Pinus nigra*, representativa en todo el Parque, pero con bajo grado de presencia en la zona de estudio.

### Diseño experimental

El principal objetivo del estudio es la determinación del grado de influencia de la herbivoría sobre el suelo. Para llevar a cabo la investigación se han seleccionado dos rebaños de diferente tamaño de individuos de ovejas. Cada rebaño se sitúa en una localización distinta, que a su vez sufre un proceso de zonación dependiendo del grado de actividad.

En consecuencia, obtenemos tres zonas de estudio en cada rebaño en función del nivel de intensidad: **alto**, **medio** y **bajo**. Esta diferenciación se ha establecido en base a la inspección e información recogida en el campo basado en los collares de GPS incorporados en los rebaños. En las zonas de alta actividad, los rebaños permanecen la mayor parte del tiempo, donde consumen los pastos y existe un mayor número de deyecciones o heces. Las zonas de nivel de actividad medio se consideran de transición de los rebaños; mientras que las de baja actividad, el ganado apenas está presente.

Durante el periodo de actividad, existe una totalidad de 8 rebaños de ovejas que pastorean en la zona de estudio. Sin embargo, para esta investigación se han seleccionado dos de ellos para evaluar los efectos de la herbivoría sobre el suelo. El primer rebaño (R1) presenta una totalidad de 355 individuos, mientras que el segundo (R2) está compuesto por 626 individuos.

### Toma de muestras

La recogida de muestras se efectuó en julio de 2022 con una duración de dos días, en las zonas con diferente actividad (intensidad) de los rebaños en los “Campos de Hernán Perea”. Los puntos de muestreo fueron seleccionados de forma aleatoria (Figura 2). Se recolectaron 9 muestras totales de suelo de las zonas donde pastorea cada rebaño, dependiendo de los distintos gradientes de presión de pastoreo. De esta manera obtenemos finalmente un total de 18 muestras de suelo recogidas a una profundidad de 5 cm (9 muestras por cada rebaño, 3 de cada una de las diferentes presiones de pastoreo). Además, se ha procedido a la eliminación de los materiales que pueden interferir en el análisis, como la hojarasca, piedras u otros elementos situados en la superficie edáfica. Previamente a su evaluación en el laboratorio, las muestras de suelo se han conservado en la nevera para la caracterización de las propiedades microbiológicas. Además, una parte de estas muestras se han secado (en caso de ser necesario según el método analítico) y tamizado a un tamaño menor de 2 mm.

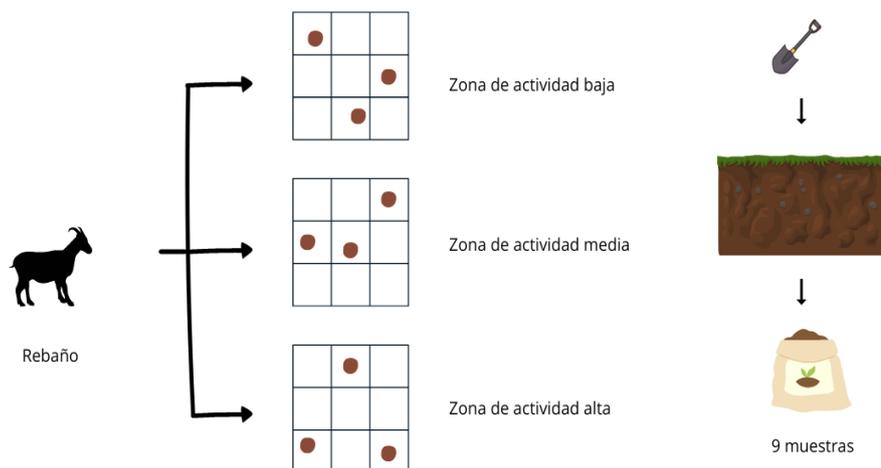


Figura 2: Esquema del muestreo realizado en cada uno de los dos rebaños.

## Análisis en el laboratorio

Los parámetros estudiados en el laboratorio fueron los siguientes:

### A) Parámetros químicos

**Contenido de carbono orgánico ( $C_{org}$ )** a partir del método de oxidación con dicromato potásico en presencia de ácido sulfúrico, y su posterior valoración con sulfato ferroso amónico (Walkley y Black, 1934).

**Cantidad de nitrógeno (N)** se ha determinado por el método Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982) para la obtención del nitrógeno tanto amoniacal como orgánico, a partir de la técnica basada en la digestión y destilación de la muestra.

**Fósforo asimilable (P)**, se ha determinado el fósforo en forma inorgánica. La extracción se lleva a cabo a partir de una disolución Burriel-Hernando (Díez, 1982); y posteriormente se realiza la medición con el espectrofotómetro UV; el cual determina la cantidad del fósforo presente en el suelo asimilable para las plantas.

### B) Parámetros físicos

**Contenido total de agregados estables (TCA) y estabilidad de los agregados (EA)**. Para determinar la agregación de las partículas que forman el suelo, se han analizado dos parámetros físicos, el porcentaje de la muestra de suelo que está formando agregados, y la estabilidad de los mismos. Ambos datos se han obtenido a partir del método de simulación de lluvia de Roldán et al. (1994) basado en Benito et al. (1986), valorando el efecto de la energía del agua calificada de forma destructiva en forma de lluvia (García-Orenes, 1992).

**Densidad aparente (DA)**. Consiste en la densidad volumétrica de las muestras de suelo (relación entre el peso seco del suelo y la unidad de volumen, incluyendo el espacio poroso), se ha obtenido a partir del método del cilindro metálico de Blake & Hartge, 1986.

### C) Parámetros microbiológicos

**Carbono de la biomasa microbiana (CBM)**. Para determinar el carbono de la biomasa se ha llevado a cabo el método de fumigación-extracción desarrollado por Vance et. al (1987). Su medición se lleva a cabo con el espectrofotómetro de luz ultravioleta.

**Respiración edáfica basal (REB)**. Se ha determinado la medida de  $CO_2$  para cuantificar la actividad microbiana del suelo incubando las muestras humedecidas hasta el 60% de su capacidad de retención de agua. La cantidad de  $CO_2$  emitida se ha obtenido mediante un medidor de impedancia (BacTrac 4200 Microbiological Analyser, Sylab, Austria) que se basa en los cambios de impedancia de una solución de KOH.

## Análisis estadístico

Los datos obtenidos de los parámetros estudiados en el laboratorio se sometieron a un análisis estadístico para la comparación de los resultados, usando el software estadístico R (R Core Team, 2023). El efecto de los rebaños en las propiedades del suelo se ha determinado a partir de la comparación de las muestras de los dos rebaños seleccionados con la prueba T-Student y/o Wilcoxon en función de la normalidad de los datos. Previamente a la realización de estos tests estadísticos, se ha llevado a cabo la determinación de la distribución normal de la muestra empleando la prueba de Shapiro-Wilk. También se ha realizado la comparativa de los niveles de intensidad de pastoreo (Alto, Medio y Bajo) utilizando las pruebas estadísticas de ANOVA y Kruskal-Wallis. El primer test consiste en el análisis de varianzas para determinar la diferencia de las medias de cada grupo (nivel de actividad) para valores que cumplen el supuesto de normalidad. Por el contrario, la prueba de Kruskal-Wallis es la prueba estadística no paramétrica que estudia la comparación de medianas para valores que no son normales. Los datos obtenidos se han representado gráficamente para cada contraste (entre rebaños, y entre niveles) utilizando el comando boxplot del software.



## RESULTADOS

Los resultados obtenidos se dividen en función del parámetro estudiado, el tamaño de los rebaños, o el nivel de actividad de los mismos. El análisis estadístico de cada variable analizada se define a continuación.

Para determinar la normalidad de los datos se ha realizado la prueba estadística de Shapiro-Wilk. Para la mayoría de las variables los datos analizados cumplen con el supuesto de normalidad (Figura 3), mientras que el test estadístico de normalidad para el Fósforo (P) no ha resultado significativo ( $P$ -valor  $< 0,05$ ). Por lo tanto, en los análisis posteriores se ha llevado a cabo la realización de tests estadísticos no paramétricos para esta variable (Test de Wilcoxon y Test de Kruskal Wallis

Tabla 1: Resultados del P-valor obtenido en la prueba de Shapiro-Wilk para cada variable estudiada.

Parámetros	P-valor	Test aplicado
<b>Corg</b>	0,2394	Shapiro
<b>N</b>	0,898	Shapiro
<b>CBM</b>	0,05357	Shapiro
<b>REB</b>	0,1019	Shapiro
<b>P</b>	0,007137	Shapiro
<b>AS</b>	0,08086	Shapiro
<b>TAC</b>	0,09711	Shapiro
<b>BD</b>	0,9311	Shapiro

A continuación, se ha realizado la prueba estadística correspondiente en cada una de las variables, en función de los dos grupos de rebaños. Para evaluar si existen diferencias significativas en las medias de las variables de cada rebaño se ha determinado el número de ovejas como factor condicionante de las propiedades del suelo. Tras realizar la prueba estadística de T-Student (datos que siguen distribución normal), o la prueba Wilcoxon (datos que no siguen una distribución normal); los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2. El p-valor menor a 0,05 en las pruebas estadísticas hace referencia a la probabilidad con la que se afirma la diferencia de medias entre los grupos.

Tabla 2: Resultados del P-valor de las pruebas estadísticas realizados para comparar las medias de los dos rebaños (R1 y R2) de cada variable muestreada, con una totalidad de 18 muestras analizadas (N).

<b>Parámetros</b>	<b>N</b>	<b>Test aplicado</b>	<b>P-valor</b>
<b>Corg</b>	18	T.Student	0,05207
<b>N</b>	18	T.Student	0,2809
<b>CBM</b>	18	T.Student	0,02886
<b>REB</b>	18	T.Student	0,8679
<b>P</b>	18	Wilcoxon	0,0002879
<b>AS</b>	18	T.Student	0,3436
<b>TAC</b>	18	T.Student	0,3632
<b>BD</b>	18	T.Student	0,6723

Según los resultados en la Tabla 2, se observan diferencias significativas en la cantidad de carbono de la biomasa (CBM) y en el contenido de fósforo asimilable (P); ya que el P-valor es menor que 0,05. Estos resultados sugieren que es poco probable que la diferencia observada entre los dos grupos se deba al azar, por lo que existe una relación entre los rebaños y los niveles de biomasa y de fósforo en el suelo. También es relevante mencionar que el p-valor para  $C_{org}$  se mostró muy cercano a la significancia estadística.

Para la segunda hipótesis planteada, que consiste en la evaluación del efecto de los distintos niveles de actividad de los rebaños en las diferentes propiedades del suelo; los datos analizados en el laboratorio se han contrastado con los tests estadísticos ANOVA (para datos con distribución normal) y Kruskal-Wallis (para datos que no siguen una distribución normal). El p-valor menor a 0,05 en las pruebas estadísticas mencionadas refleja la probabilidad con la que se afirma la diferencia de varianzas entre los grupos.

Tabla 3: Resultados del P-valor de las pruebas estadísticas realizados para comparar las medias de los dos rebaños de cada variable muestreada, con una totalidad de 6 muestras analizadas (N), 3 de cada nivel (Alto, Medio y Bajo) de los dos rebaños (3x2).

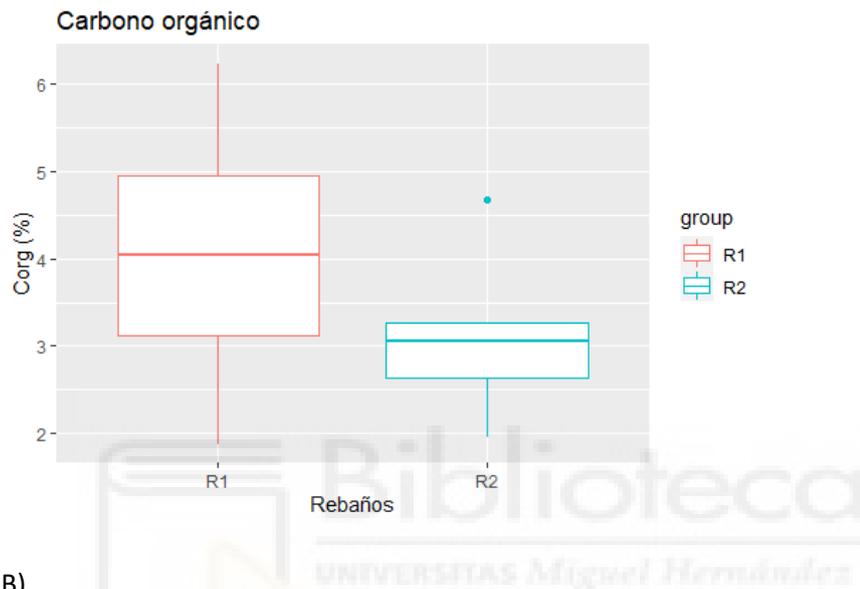
<b>Parámetros</b>	<b>N</b>	<b>Test aplicado</b>	<b>P-valor</b>
<b>Corg</b>	6	ANOVA	0,0709
<b>N</b>	6	ANOVA	0,00368
<b>CBM</b>	6	ANOVA	0,4085
<b>REB</b>	6	ANOVA	0,324
<b>P</b>	6	Kruskal-Wallis	0,7378
<b>AS</b>	6	ANOVA	0,00141
<b>TAC</b>	6	ANOVA	0,406
<b>BD</b>	6	ANOVA	0,0744

De los parámetros estudiados en función del nivel de actividad de los rebaños, existen diferencias significativas en el contenido de nitrógeno y en el porcentaje total de la estabilidad de los agregados. Estos resultados reflejan que los distintos niveles de intensidad (alto, medio y bajo) tienen un efecto relevante sobre estas dos variables.

A continuación en la siguiente página, se exponen los resultados gráficamente (gráfico de cajas) de cada variable en relación al factor evaluado, tanto de la hipótesis 1 (tamaño de los rebaños), como de la hipótesis 2 (nivel de intensidad de los rebaños).

Los valores de carbono orgánico ( $C_{org}$ ) de las muestras recogidas no se ven afectados significativamente por la intensidad de los rebaños (Figura 3). El tamaño de los rebaños tampoco es significativo para las variaciones de carbono orgánico. Aunque los test estadísticos realizados para cada comparación se han obtenido cerca de la evidencia significativa.

A)



B)

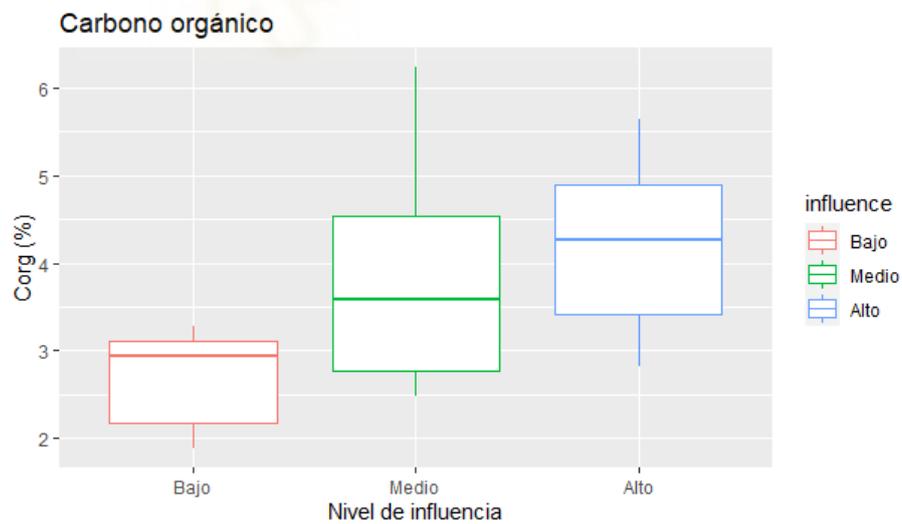
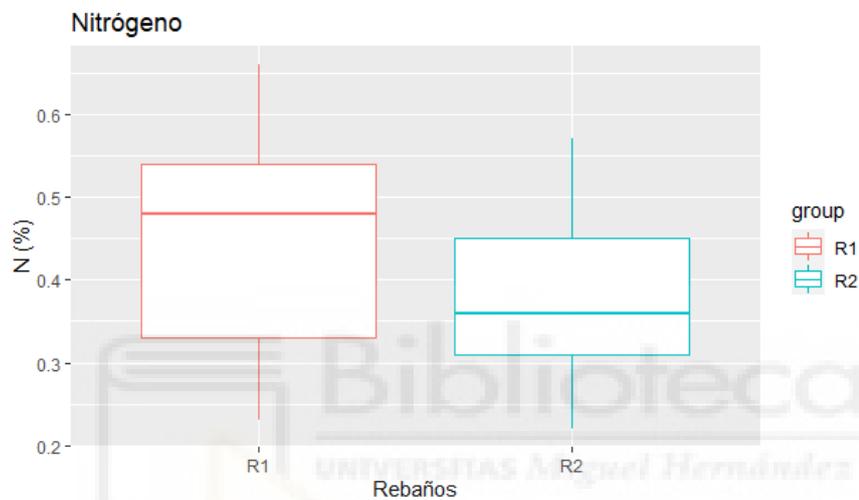


Figura 3: Gráfico de cajas (boxplot) del contenido de Carbono orgánico (%), en relación con el tamaño de los dos rebaños (A) ; y en función del nivel de actividad de los mismos (B) , divididos a su vez en los distintos niveles de influencia (Bajo, Medio y Alto).

En la figura 4 A, relativo al contenido de nitrógeno (N); en los resultados obtenidos del análisis de los datos comparando los dos rebaños, se observa un pequeño aumento de los valores de nitrógeno en las muestras recolectadas de las zonas donde pastorea el primer rebaño. No obstante, esa diferencia en los niveles de nitrógeno no es significativa (Tabla 2). Tras el análisis del contenido de nitrógeno en las zonas de baja, media y alta actividad del ganado, se observa una diferencia significativa entre las clases de pastoreo (Tabla 3, Figura 4 B).

A)



B)

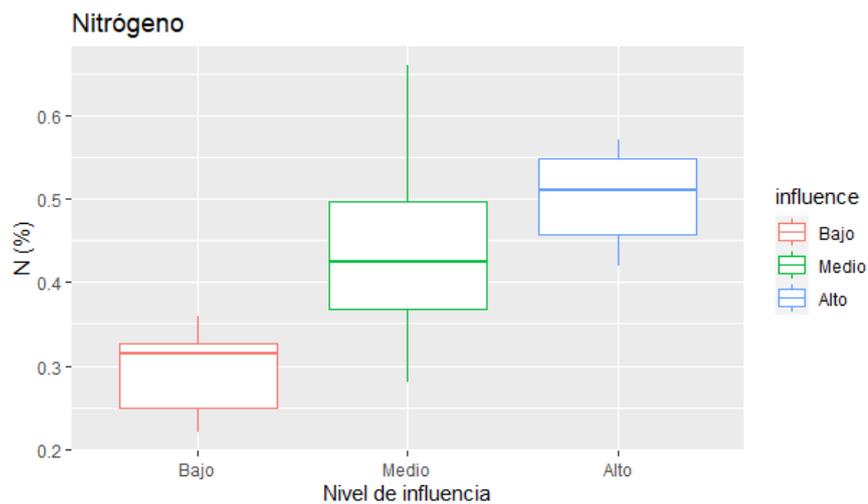
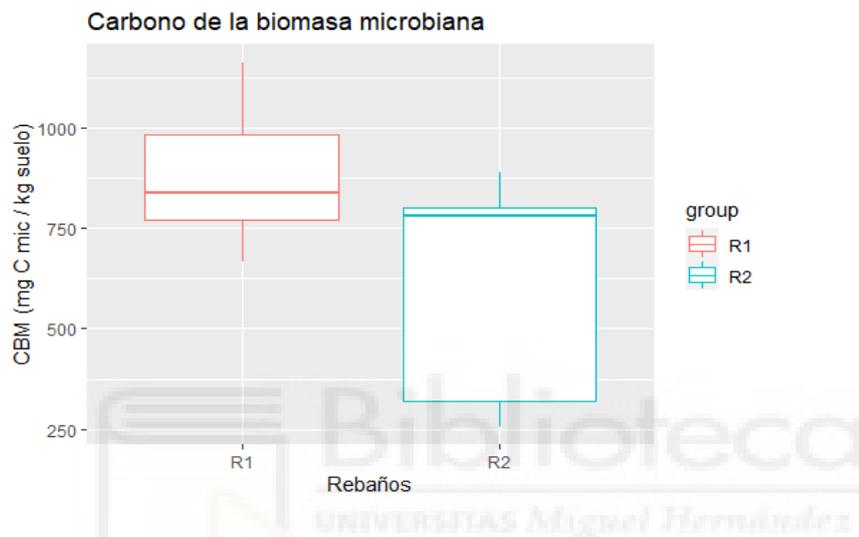


Figura 4: Gráfico de cajas (boxplot) de los valores promedio del Nitrógeno (%), en relación con el tamaño de los dos rebaños (A); y en función del nivel de actividad de los mismos (B), divididos a su vez en los distintos niveles de influencia (Bajo, Medio y Alto).

Sin embargo, los valores de carbono de la biomasa (CBM) sí resultaron significativos. El tamaño de los rebaños influye en el contenido de este parámetro, los valores disminuyen en las muestras recolectadas de las zonas donde pastorea el segundo rebaño, que es más pequeño en número de individuos (Figura 5). Pero el nivel de actividad no afecta significativamente a los datos de la biomasa que se han analizado.

A)



B)

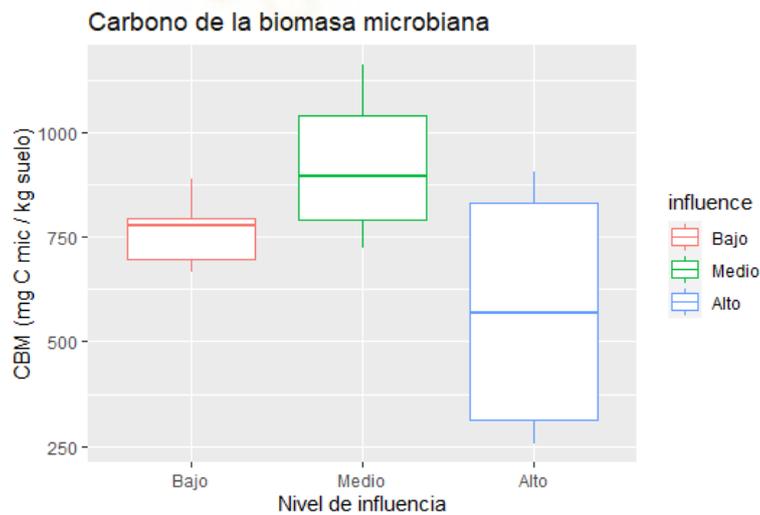
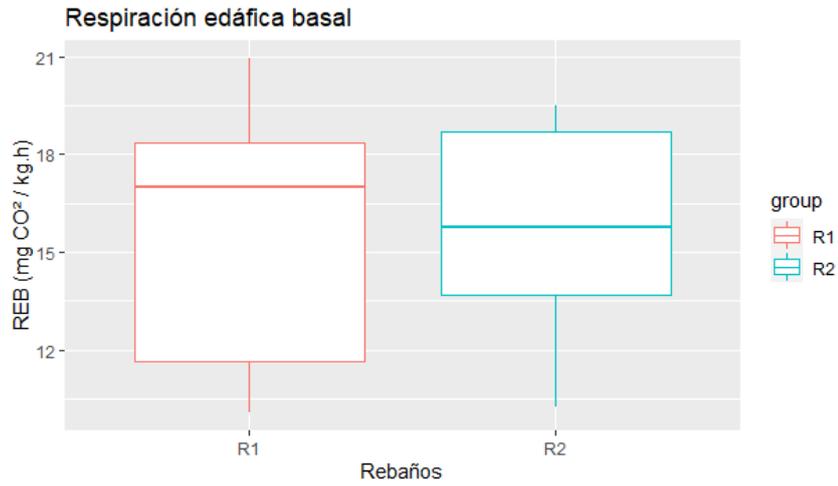


Figura 5: Gráfico de cajas (boxplot) de la cantidad de Carbono de la biomasa microbiana ( $\text{mg C}_{\text{mic}} / \text{kg suelo}$ ), en relación con el tamaño de los dos rebaños (A); y en función del nivel de actividad de los mismos (B), divididos a su vez en los distintos niveles de influencia (Bajo, Medio y Alto).

En cuanto a las medidas de la respiración edáfica basal (REB), no se han observado variaciones significativas en función del nivel de actividad ni de la carga ganadera de los rebaños.

A)



B)

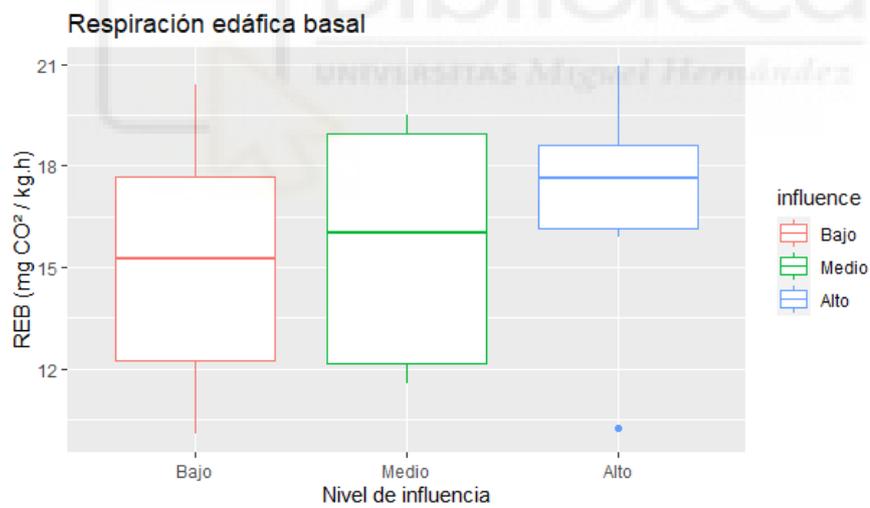
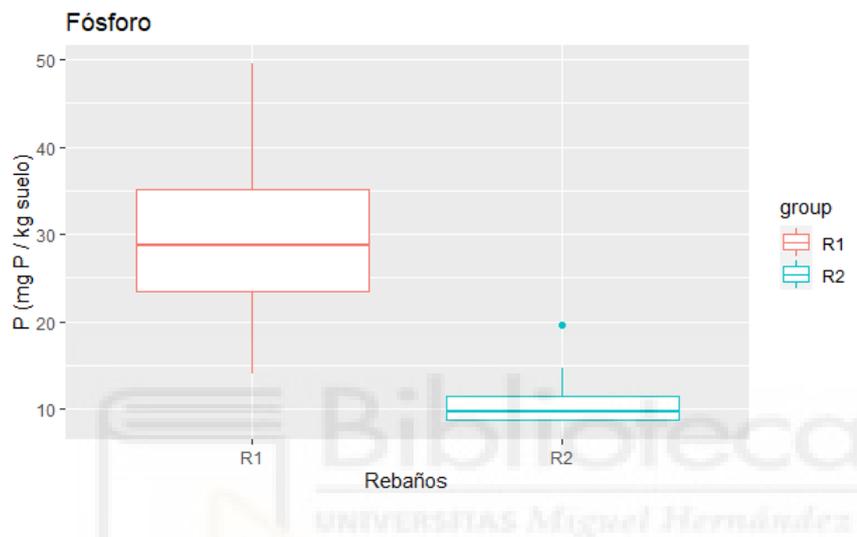


Figura 6: Gráfico de cajas (boxplot) de las medidas de Respiración edáfica basal (mg CO<sub>2</sub> / kg·h), en relación con el tamaño de los dos rebaños (A); y en función del nivel de actividad de los mismos (B), divididos a su vez en los distintos niveles de influencia (Bajo, Medio y Alto).

Existe diferencia significativa en el análisis estadístico del contenido de fósforo (P) en el suelo en relación con el tamaño de los rebaños. Las muestras recogidas en las zonas de pastoreo del primer rebaño presentan valores más altos en comparación con las del segundo rebaño (Figura 7). Los niveles de influencia de los rebaños no afectan significativamente a los valores de fósforo analizados.

A)



B)

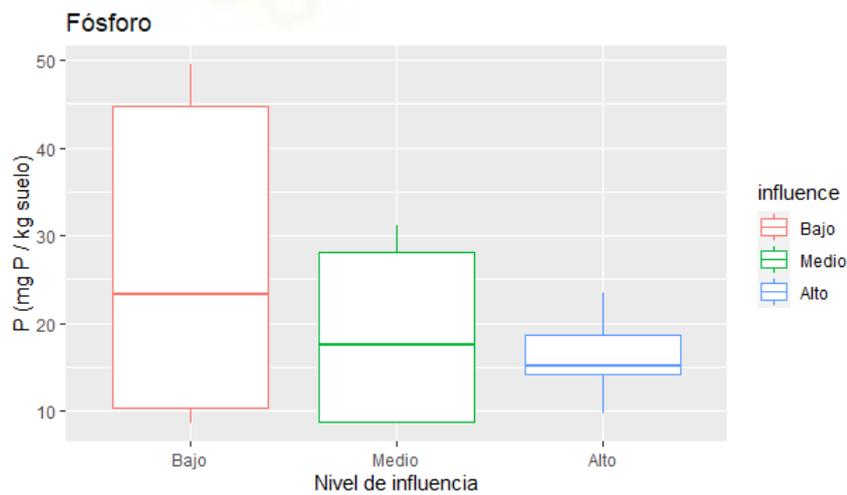
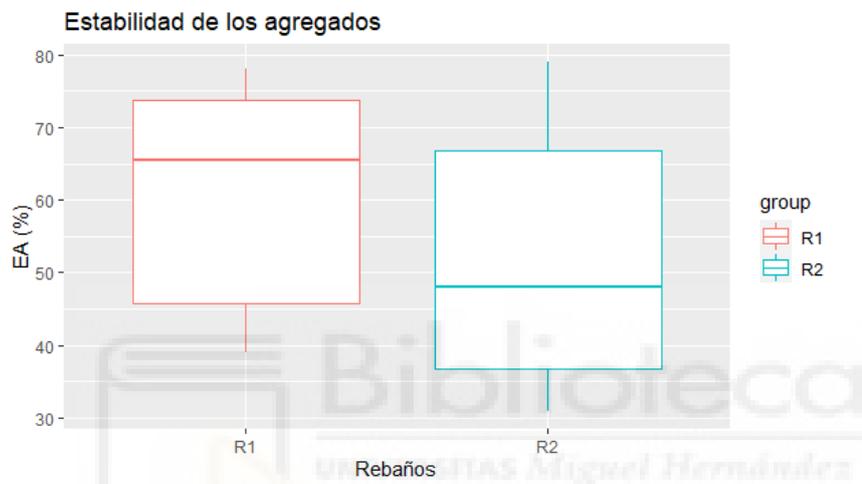


Figura 7: Gráfico de cajas (boxplot) del contenido de Fósforo (mg P / kg suelo), en relación con el tamaño de los rebaños (A); y en función del nivel de actividad de los mismos (B), divididos a su vez en los distintos niveles de influencia (Bajo, Medio y Alto).

Por otra parte, el análisis estadístico de la medida de la estabilidad de los agregados (EA) sí evidencia una clara relación entre el nivel de actividad de los rebaños y el % de estabilidad de los agregados. En las zonas de alta intensidad se registraron los valores más altos en comparación con las zonas de baja y media actividad. Aunque no se ha encontrado una evidencia estadística que respalde la teoría de que los resultados obtenidos dependen de la carga ganadera o del tamaño de los rebaños.

A)



B)

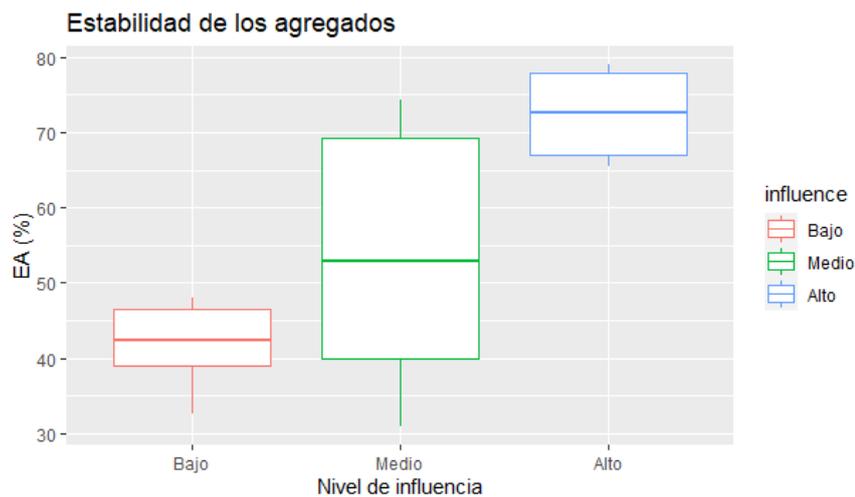
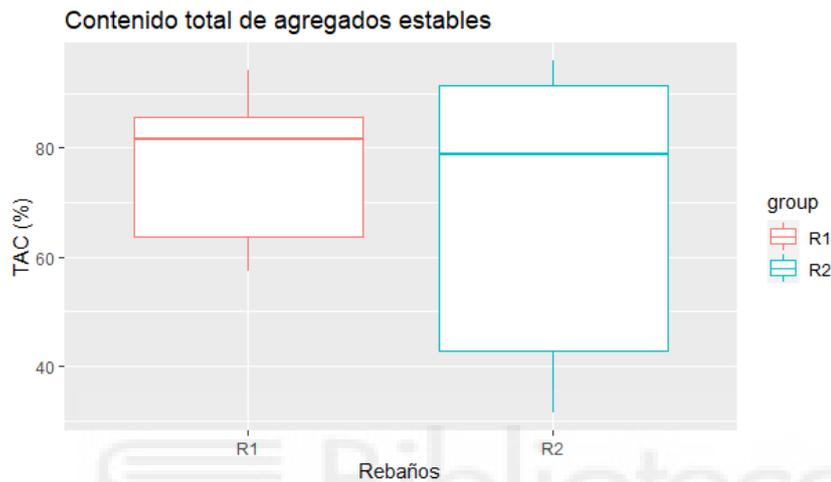


Figura 8: Gráfico de cajas (boxplot) de la Estabilidad de los agregados (%), en relación con el tamaño de los dos rebaños (A); y en función del nivel de actividad de los mismos (B), divididos a su vez en los distintos niveles de influencia (Bajo, Medio y Alto).

Referente al contenido de agregados totales (TCA), el análisis estadístico no ha resultado significativo en función de los distintos factores evaluados: el tamaño de los rebaños y el nivel de actividad de los mismos. Se ha obtenido una menor proporción de agregados estables en las zonas de alta actividad.

A)



B)

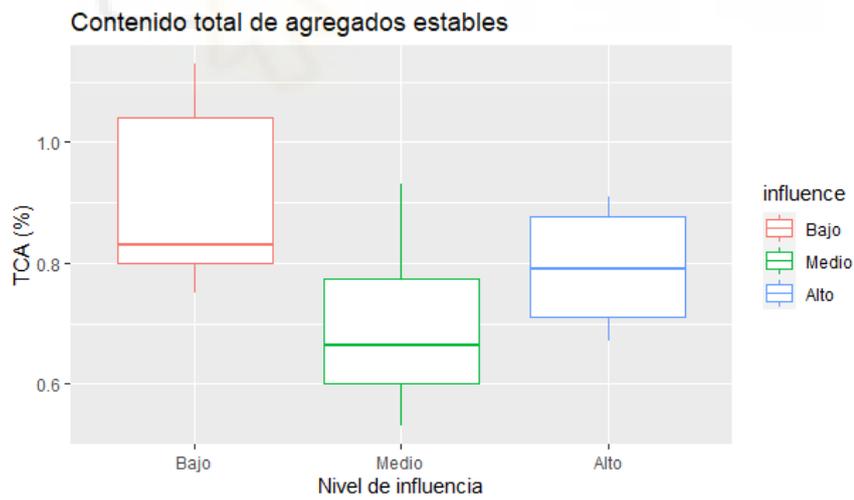
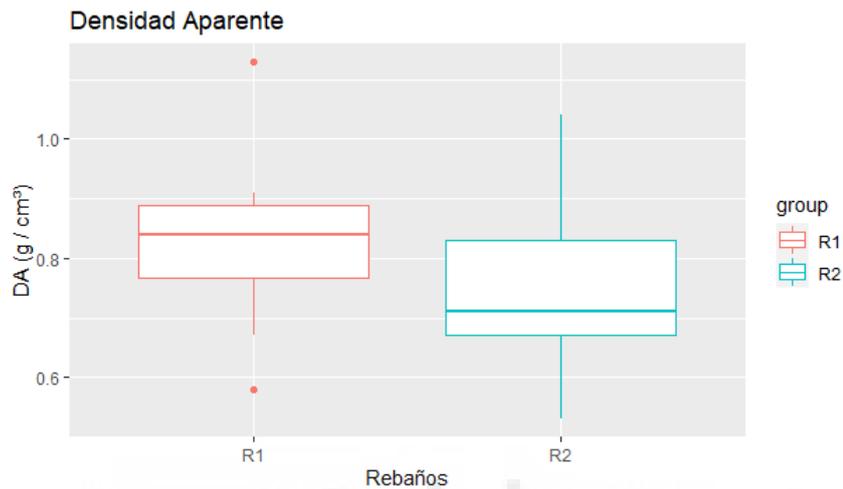


Figura 8: Gráfico de cajas (boxplot) del Contenido total de agregados estables (%), en relación con el tamaño de los dos rebaños (A); y en función del nivel de actividad de los mismos (B), divididos a su vez en los distintos niveles de influencia (Bajo, Medio y Alto).

Por último, en el caso de la densidad aparente, no se han observado evidencias significativas en los análisis estadísticos realizados para ambos casos de estudio. Los datos más elevados se han recogido en las muestras de baja actividad de los rebaños.

A)



B)

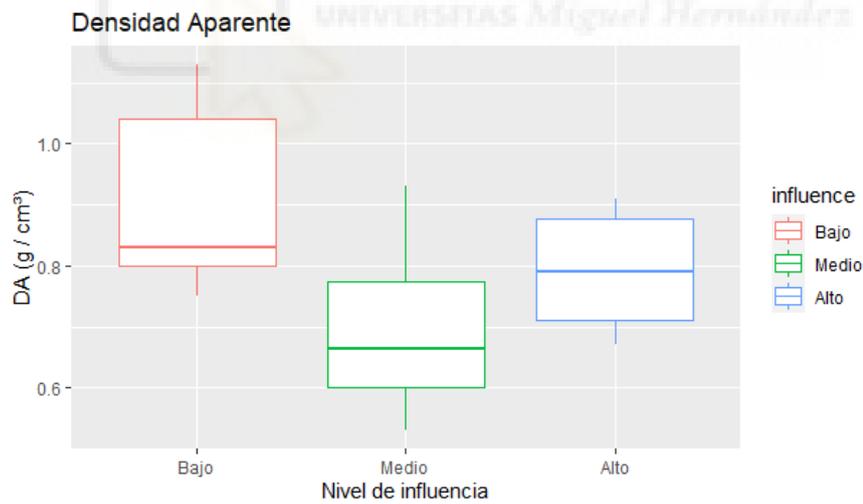


Figura 9: Gráfico de cajas (boxplot) de los valores de Densidad Aparente ( $\text{g} / \text{cm}^3$ ), en relación con el tamaño de los rebaños (A); y en función del nivel de actividad de los mismos (B), divididos a su vez en los distintos niveles de influencia (Bajo, Medio y Alto).

## DISCUSIÓN

Las variables edáficas evaluadas en el estudio presentan una interacción compleja, lo que significa que su comportamiento y valores pueden variar en función de los factores que se están estudiando (carga ganadera y nivel de influencia), teniendo en cuenta las características ambientales de los ecosistemas de pastizales. La realización de prácticas de pastoreo extensivo en el área seleccionada para el estudio genera cambios en las propiedades del suelo que suelen ser interpretados como incrementos en la calidad del mismo, dependiendo del número de individuos de ovejas que componen los rebaños (carga ganadera) y del nivel de actividad que realizan (en función de la intensidad).

El ganado ovino participa en el reciclado de nutrientes a partir de la defoliación y generación de restos vegetales, que junto con la excreción de las heces contribuyen al mantenimiento de la fertilidad del suelo. El punto clave radica en que parámetros como la biomasa microbiana, el carbono y la estabilidad de los agregados del suelo pueden estar asociados con el aumento de nutrientes disponibles y el incremento del flujo de materia en el sistema. Los parámetros afectados por esta actividad son el carbono orgánico, el carbono de la biomasa microbiana y la estabilidad de los agregados del suelo, ya que se ven influenciados por el incremento de nutrientes disponibles en la fracción del suelo y el aumento del flujo de materia en el sistema.

Referente a la primera hipótesis planteada, el tamaño de los rebaños como factor limitante en las propiedades del suelo ha resultado significativo en el carbono de la biomasa microbiana (CBM) y en el contenido de fósforo asimilable para las plantas. La actividad de los organismos edáficos se considera como factor influyente en la estructura del suelo. Dicha actividad se ha determinado a partir del análisis en laboratorio y su posterior distinción estadística de las propiedades biológicas del suelo (CBM y REB). El aumento de la biomasa microbiana indica que el pastoreo del rebaño de menor tamaño facilita la colonización y desarrollo de comunidades microbianas debido al aporte adicional de nutrientes vía heces.

Fonte y colaboradores (2014) declararon que el fósforo podía ser utilizado como indicador de degradación de los suelos. En el estudio se observó una disminución en las concentraciones de este elemento en los sistemas pastoriles de alta actividad, ya que consumen gran parte de la totalidad de los pastos. Por el contrario, en el análisis estadístico del presente estudio se ha demostrado una evidencia significativa en relación con el número de individuos que componen los rebaños frente al contenido de fósforo en los suelos. En las muestras

recogidas de las zonas pastoreadas por el rebaño de menor carga ganadera (compuesto por 355 individuos), se observaron mayores niveles del elemento estudiado.

Los resultados obtenidos acerca del estudio de confirmación de la primera hipótesis reflejan valores más altos en los rebaños de menor número de individuos. Los gráficos de cajas realizados para cada variable dependiendo del tamaño de los rebaños, representan la distribución de los datos obtenidos en este estudio. Esto sugiere que la mediana del conjunto de datos del parámetro analizado en R1 es mayor que en R2. Esta situación está presente en las variables analizadas, por lo que podemos concluir que la carga ganadera si condiciona las propiedades del suelo evaluadas. Los factores que llevan a esta condición puede ser el aumento del lixiviado o pérdida de nutrientes, debido a un aumento en la compactación del suelo en las zonas con mayor carga ganadera; lo que conduce a reducir la capacidad del suelo de retener nutrientes en los horizontes más superficiales. Por un lado, en las zonas de alta carga animal se presupone una reducción en la cantidad de restos vegetales, pero por otro se espera un mayor aporte de materiales fácilmente degradables (excrementos) y por consiguiente una mayor disponibilidad de nutrientes ( $C_{org}$ , N, fósforo). A su vez, una reducción en el aporte de materia orgánica conduce a la disminución de la actividad y diversidad microbiana en el suelo, encargados de los procesos de descomposición y mineralización de nutrientes; junto con la formación de agregados estables y la fijación del nitrógeno. Por lo tanto, también se ve afectada la estructura y estabilidad del suelo, observado en el aumento de las propiedades físicas del suelo (EA, TAC y DA). Aunque no se haya obtenido una diferencia estadística significativa, estos resultados respaldan la idea de que la presión ganadera genera cambios en el suelo.

En relación con la segunda hipótesis, los niveles altos de actividad de los rebaños estudiados reflejan la existencia de un efecto significativo en la cantidad de nitrógeno del suelo, y el porcentaje de estabilidad de los agregados. En ambos parámetros se observa un aumento de sus niveles en las zonas de alta influencia de los rebaños (alto > medio > bajo). Este incremento en las propiedades edáficas mencionadas determina que la intensidad de los herbívoros favorece las condiciones de estos parámetros, de esta manera se confirma la hipótesis planteada acerca del efecto del nivel de influencia de los rebaños sobre las propiedades analizadas del suelo. En las zonas de mayor actividad (por ejemplo en zonas cercanas a los corrales), los rebaños realizan la mayor parte de sus funciones vitales, como es por ejemplo la alimentación y la secreción de nutrientes vía heces. En el caso del nitrógeno, la orina contiene altos niveles de dicho elemento (Siavosh, et al., 1999). A partir de la descomposición de la materia orgánica de los restos vegetales y las heces de los rebaños, los organismos descomponedores y las comunidades microbianas presentes en el suelo, permiten la conversión

de los compuestos nitrogenados en nitrógeno asimilable para las plantas contribuyendo de esta manera a la recirculación de este elemento por el compartimento suelo-planta-atmósfera.

Por otro lado, el aumento en el porcentaje de estabilidad de los agregados, propiedad que determina la capacidad de mantener unidas las partículas que conforman el suelo; evidencia una estructura más resistente a los procesos erosivos (Ocampo, 2022; Vial-Alarcón, 2022). Aunque la estabilidad de los suelos depende de numerosos factores, cabe mencionar que el contenido de materia orgánica en el suelo también facilita la adhesión de las partículas minerales de la arcilla (Estévez et al., 2016). Esta propiedad se ve favorecida por la actividad de las comunidades microbianas, la presencia de raíces y la cantidad de minerales y arcilla que contiene el suelo. En este estudio se constata que el aporte de materia orgánica procedente de los excrementos del ganado está facilitando la agregación. Existen numerosos trabajos que relacionan la presencia de un mayor contenido de materia orgánica con la agregación del suelo (Mataix-Solera et al., 2009; Coronado et al., 2015; Ortiz et al., 2016). A pesar de ello, es fundamental tener en cuenta que el pastoreo debe ser gestionado de una manera adecuada y sostenible con la funcionalidad natural de los ecosistemas de pastizales, evitando la sobreexplotación y degradación del suelo.

Además, el tránsito y pisoteo continuado por el ganado doméstico sobre las propiedades edáficas y la producción de pastizales han sido documentados en varios estudios (Bell et al., 2011; Medina et al., 2016). Las conclusiones de estas investigaciones varían en función del tipo de suelo, la intensidad de carga animal, el tipo de vegetación y el clima de la región entre otros factores. Asimismo, la compactación del suelo se confirma con la combinación del aumento de la densidad aparente y la disminución del contenido total de agregados estables en los suelos (Taboada et al., 2009). Por el contrario, los valores más altos de densidad aparente se recogieron en las zonas de baja actividad de los rebaños; mientras que el contenido total de agregados o proporción de agregados que se mantienen intactos en comparación con los que se disgregan fácilmente, disminuyó en las zonas de alta intensidad de los rebaños. Por lo tanto, estos resultados no determinan la compactación de los suelos analizados, ya que la presión de pastoreo no es suficientemente alta para que ocurra este proceso.

En los ecosistemas terrestres, los suelos se consideran como la mayor fuente y reservorio de carbono (C), siendo el principal medio a través del cual el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) fijado por los organismos vegetales, es devuelto a la atmósfera (Céspedes et al., 2012). A pesar de que no se haya encontrado una evidencia significativa estadística, si se ha observado un aumento en los niveles de carbono orgánico del suelo en las muestras de las zonas de alta actividad de los

rebaños. Anteriormente se ha determinado que las prácticas de pastoreo controlado pueden aportar de forma natural este elemento al suelo a partir de las deyecciones (Rivero et al., 2011). Además, las heces contienen la mayor parte del fósforo, incluyendo una parte orgánica de difícil asimilación y otra inorgánica que está disponible de manera inmediata (Siavosh, et al. 1999). Por lo tanto, se puede concluir que el pastoreo contribuye de manera positiva a la cantidad de carbono orgánico y fósforo asimilable para las plantas contenido en la fracción del suelo.

No obstante, los resultados obtenidos no reflejan una evidencia estadística que confirme un efecto significativo de la actividad de los rebaños y de la carga ganadera extensiva sobre el resto de las propiedades evaluadas (mencionadas en el apartado de resultados). Sin embargo, cabe resaltar que los valores más altos que cuantifican la respiración edáfica basal se recogieron en las muestras de las zonas de alta actividad de los rebaños. Un aumento en la respiración de los organismos del suelo puede indicar una mayor actividad microbiana, que a su vez es un indicador positivo de la salud y calidad del suelo (Mora et al., 2015). Concluyendo que el pastoreo contribuye al aporte de materia orgánica y promueve su mezcla en el suelo, proporcionando unas condiciones favorables para el asentamiento de las comunidades microbianas.

Además, el pastoreo no controlado se caracteriza por presentar índices de carga ganadera considerables junto con una actividad excesiva de los rebaños; a veces incluso concentrada en una determinada zona. Esta situación puede provocar la compactación del suelo, aumentando de esta manera la erosionabilidad. Otros estudios reflejan la evidencia de un efecto positivo del pastoreo a intensidades bajas o moderadas sobre algunos parámetros del suelo como el contenido de carbono orgánico, el contenido de carbono de la biomasa microbiana y la estabilidad de los agregados del suelo (Cingolani et al., 2008; Cui et al., 2021; Ibáñez-Álvarez et al., 2022).

Asimismo, la hojarasca actúa como fuente de nutrientes y materia orgánica, enriqueciendo el suelo; y además lo protege de la erosión causada por las gotas de lluvia como resultado de una disminución en la cantidad de suelo expuesto o desnudo. También se encarga de desempeñar un papel fundamental al ralentizar el flujo de agua superficial, permitiendo de esta manera una mejor infiltración en el suelo (Belsky et al, 1997). La defoliación selectiva también puede generar un impacto en la estructura y composición de la vegetación de pastizales; ya que los rebaños al consumir ciertas especies o alimentarse de determinadas partes de las plantas pueden promover la renovación de las hojas o generación de nuevos brotes a partir de la dispersión de semillas. Este aumento en la producción de la biomasa vegetal también genera un aporte de materia orgánica y por ende, estimula la actividad microbiana del suelo.

## CONCLUSIÓN

El suelo es un sistema complejo y dinámico, ya que se observa una clara relación entre las distintas propiedades del suelo. En consecuencia, los cambios en la estructura del suelo, las alteraciones en los ciclos de nutrientes y las modificaciones en la actividad microbiana en las áreas donde pastan los rebaños; varían en función de la carga ganadera (tamaño de los rebaños) y de su actividad. El pastoreo extensivo de la zona de estudio evaluada representa cambios en algunas de las variables analizadas.

En cuanto al factor de presión ganadera, los parámetros evaluados en la zona del rebaño menos numeroso representan los resultados más favorables para la calidad del suelo, en comparación con las zonas donde pastorea el segundo rebaño. En términos generales, en las zonas de mayor actividad de los dos rebaños, se ha observado un aumento en el contenido de nutrientes y algunos parámetros asociados con un incremento en la estabilidad del suelo y en la actividad microbiana. Se observó una clara efectividad en el ciclo de nutrientes gracias a la deposición de excrementos de los rebaños y a la incorporación de restos vegetales en la fracción del suelo. Este hecho ha ocasionado el enriquecimiento de los horizontes superficiales del suelo y la biodisponibilidad de los nutrientes asimilables para las plantas.

Pequeñas modificaciones en el tamaño del rebaño y en el patrón de usos del espacio por el ganado (alto, medio y bajo) indican un efecto considerable en algunas de las variables analizadas. Sin embargo, no podemos evaluar si el efecto es positivo o negativo debido a la escasez de información acerca de la comparativa entre un área natural conservada y no pastoreada. Pero se puede concluir que los resultados demuestran la sensibilidad de los suelos ante pequeñas modificaciones en las prácticas de pastoreo y el uso del espacio. Esta observación se refleja tras confirmar la primera hipótesis, donde se analiza el tamaño de los rebaños como factor limitante y se evidencia que el aumento de 355 a 626 individuos, no genera un impacto abrupto en las condiciones del suelo a pesar de observar diferencias.

Se plantea la posibilidad de establecer más grupos de rebaños, pero con menos individuos de ovejas, lo que podría ser una estrategia más favorable en comparación con las prácticas de ganadería extensiva que implican menos grupos, pero de mayor carga ganadera. Esta alternativa podría contribuir a minimizar los impactos negativos en el suelo y promover una gestión más sostenible de los recursos naturales en sistemas ganaderos. Sin embargo, se requiere de la realización de investigaciones adicionales para evaluar en profundidad los beneficios y desafíos asociados con esta estrategia antes de su implementación en las zonas de pastizales presentes en el Parque Natural.

## BIBLOGRAFÍA

Aldezabal, A., García-González, R., Gómez, D., & Fillat, F. (2002). El papel de los herbívoros en la conservación de los pastos. *Ecosistemas*, 11(3).

Arciniegas-Torres, S. P., & Flórez-Delgado, D. F. (2018). Estudio de los sistemas silvopastoriles como alternativa para el manejo sostenible de la ganadería. *Ciencia y agricultura*, 15(2), 107-116.

Belsky, A. J., & Blumenthal, D. M. (1997). Effects of Livestock Grazing on Stand Dynamics and Soils in Upland Forests of the Interior West: Efectos del Pastoreo sobre la Dinámica de Árboles y Suelos en Bosques en el Altiplano del Occidente Interior. *Conservation Biology*, 11(2), 315-327.

Camacho, L. P. (2004). *Dinámica de comunidades herbáceas mediterráneas: influencia del régimen hídrico y el pastoreo* (Doctoral dissertation, Universidad de Alcalá).

Cerda, A. (2002). The effect of season and parent material on water erosion on highly eroded soils in eastern Spain. *Journal of Arid Environments*, 52(3), 319-337.

Céspedes Flores, F. E., Fernandez, J. A., Gobbi, J. A., & Bernardis, A. C. (2012). Carbon stock in soil and roots of a grassland and a sward under grazing. *Revista fitotecnia mexicana*, 35(1), 79-86.

Cháirez, F. G. E., Pérez, A. S., & Valenzuela, R. B. (2007). Influencia del sistema de pastoreo con pequeños rumiantes en un agostadero del semiárido zacatecano: II. Cambios en el suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 45(2), 177-194.

Cingolani, A. M., Noy-Meir, I., & Díaz, S. (2005). Grazing effects on rangeland diversity: a synthesis of contemporary models. *Ecological applications*, 15(2), 757-773.

Cingolani, A. M., Noy-Meir, I., Renison, D. D., & Cabido, M. (2008). Is extensive livestock production compatible with biodiversity and soil conservation?. *Ecología Austral*, 18(03), 253-271.

Coronado, A. M., Orenes, F. G., & Cerdà, A. (2015). Changes in soil microbial activity and physicochemical properties in agricultural soils in Eastern Spain. *Spanish Journal of Soil Science: SJSS*, 5(3), 201-213.

Cui, Y., Dong, Y., Liu, H., & Sun, Z. (2021). Short-term grazing exclusions reduced soil organic carbon but not bacterial diversity in the sagebrush desert, Northwest China. *Global Ecology and Conservation*, 31, e01872.

Dane, J. H., & Topp, C. G. (Eds.). (2020). *Methods of soil analysis, Part 4: Physical methods* (Vol. 20). John Wiley & Sons.

Dias Batista, P. H., Pontes de Almeida, G. L., Bezerra da Silva, J. L., Pandorfi, H., Vinícius da Silva, M., Batista da Silva, R. A., ... & Florentino Cordeiro Junior, J. J. (2020). Short-term grazing and its impacts on soil and pasture degradation. *Dyna*, 87(213), 123-128.

Dlamini, P., Chivenge, P., & Chaplot, V. (2016). Overgrazing decreases soil organic carbon stocks the most under dry climates and low soil pH: A meta-analysis shows. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 221, 258-269.

Dondini, M., Martin, M., De Camillis, C., Uwizeye, A., Soussana, J. F., Robinson, T., & Steinfeld, H. (2023). Global assessment of soil carbon in grasslands. *From current stock estimates to sequestration potential. Rome: FAO (FAO Animal Production and Health Paper, 187)*.

Estévez, M. A., Cid, M. C., & Núñez, R. P. (2016). Poorly-crystalline components in aggregates from soils under different land use and parent material. *Catena*, 144, 141-150.

Fernández, D. M., Pueyo, Y., Maestro, M., Bueno, C. G., & Alados, C. L. (2011). Efecto del pastoreo sobre las propiedades hidro-físicas del suelo en una zona semiárida del centro del Valle del Ebro. In *Control de la degradación y uso sostenible del suelo: V Simposio Nacional sobre control de la degradación y uso sostenible del suelo* (pp. 185-189). Universidad de Murcia.

Gao, J., & Carmel, Y. (2020). A global meta-analysis of grazing effects on plant richness. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 302, 107072.

García-Ruiz, J. M., Lasanta, T., Nadal-Romero, E., Lana-Renault, N., & Álvarez-Farizo, B. (2020). Rewilding and restoring cultural landscapes in Mediterranean mountains: Opportunities and challenges. *Land use policy*, *99*, 104850.

Gartzia-Bengoetxea, N., de Arano, I. M., & Arias-González, A. (2021). Forest productivity and associated soil ecosystem services remain altered 15 years after mechanized site preparation for reforestation with *Pinus radiata*. *Soil and Tillage Research*, *213*, 105150.

Ibañez-Alvarez, M., Baraza, E., Serrano, E., Romero-Munar, A., Cardona, C., Bartolome, J., & Krumins, J. A. (2022). Ungulates alter plant cover without consistent effect on soil ecosystem functioning. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *326*, 107796.

Lince-Salazar, L. A., Castro, A. F., & Castaño, W. A. (2020). Estabilidad de agregados de suelos de la zona cafetera colombiana. *Revista Cenicafé*, *71(2)*, 73-91.

Marín, M. A. M., Pescador, L. R., Ramos, L. R., & Charry, J. L. A. (2017). Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia. *Ingeniería y región*, *17*, 1-12.

Martínez, T. M. (2002). Comparison and overlap of sympatric wild ungulate diet in Cazorla, Segura and Las Villas Natural Park. *Pirineos*, *157*, 103-116.

Mataix-Solera, J., & Cerdà, A. (2009). Los efectos de los incendios forestales en los suelos. Síntesis y conclusiones. Nuevos retos en la investigación y en la gestión. *Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. El estado de la cuestión visto por los científicos españoles. Cátedra de Divulgació de la Ciència. Universitat de València, València*, 355-383.

Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Arcenegui, V., Bárcenas, G., Zornoza, R., Pérez-Bejarano, A., ... & Zavala, L. M. (2009). Los incendios forestales y el suelo: un resumen de la investigación realizada por el Grupo de Edafología Ambiental de la UMH en colaboración con otros grupos. *A: CERDÀ, A*, 187-217.

Molinillo, M., & Monasterio, M. (2002). Patrones de vegetación y pastoreo en ambientes de páramo. *Ecotropicos*, *15(1)*, 19-34.

Mora Delgado, J. R. (2015). La actividad microbiana: un indicador integral de la calidad del suelo. *Revista Luna Azul (On Line)*, (5-6), 1-de.

Morra, B., Brisbin, H., Stringham, T., & Sullivan, B. W. (2023). Ecosystem carbon and nitrogen gains following 27 years of grazing management in a semiarid alluvial valley. *Journal of Environmental Management*, 337, 117724.

Núñez Ramos, P. A., Jara Castillo, A. A., Sandoval Sandoval, Y., Demanet, R., & Mora, M. D. L. L. (2012). Biomasa microbiana y actividad ureasa del suelo en una pradera permanente pastoreada de Chile. *Ciencia del suelo*, 30(2), 187-199.

Ortiz, M. T. B., & Araujo, E. A. R. (2016). Determinación de la estabilidad de agregados del suelo en diferentes agroecosistemas del departamento Norte de Santander. *Suelos Ecuatoriales*, 46(1), 42-50.

Ping, J., & Jianlong, L. (1997). Efectos de diferentes intensidades de pastoreo sobre el suelo, el pasto y la producción ovina en Northern Tianshan en China. *Archivos de zootecnia*, 46(176), 301-310.

Pol, R. G., Sagario, M. C., & Marone, L. (2014). Grazing impact on desert plants and soil seed banks: implications for seed-eating animals. *Acta Oecologica*, 55, 58-65.

Reategui, K., Aguirre, N., Oliva, R., & Aguirre, E. (2019). Presión de pastoreo sobre la disponibilidad de forraje *Brachiaria decumbens*. *Scientia Agropecuaria*, 10(2), 249-258.

Rebollo, M. D. P. F., Muñoz, M. D. C., & Moreno, A. G. (2015). Contribución de la ganadería extensiva al mantenimiento de las funciones de los ecosistemas forestales. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (39), 147-162.

Rivero, C., Cabrales, E., Santana, G., Rivas, M., Pulido, M., Rey, J., ... & Araque, H. (2013). Efecto del pastoreo de cerdos sobre las fracciones de nitrógeno, carbono y fósforo del suelo. *Temas agrarios*, 18(1), 23-33.

Rodríguez, J., González-Pérez, J. A., Turmero, A., Hernández, M., Ball, A. S., González-Vila, F. J., & Arias, M. E. (2018). Physico-chemical and microbial perturbations of Andalusian pine forest soils following a wildfire. *Science of the Total Environment*, 634, 650-660.

Romeu, A. M. (2020). Pastoreo extensivo en un pueblo de Soria: etnografía de un mundo en extinción. *Revista Murciana de Antropología*, (27), 33-56.

SALAMANCA, A., & SADEGHIAN, S. (2006). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana.

Siavosh, S. Rivera. J. M. Gómez, M. E. (1999). Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia.

Su, J., Xu, F., & Zhang, Y. (2023). Grassland biodiversity and ecosystem functions benefit more from cattle than sheep in mixed grazing: A meta-analysis. *Journal of Environmental Management*, 337, 117769.

Taboada, M. A., & Micucci, S. N. (2009). Respuesta de las propiedades físicas de tres suelos de la Pampa deprimida al pastoreo rotativo. *Ciencia del suelo*, 27(2), 147-157.

TRAMPLING, E. O. S. C. B. EFECTOS DE LA COMPACTACION DE SUELOS POR EL PISOTEO DE ANIMALES, EN LA PRODUCTIVIDAD DE LOS SUELOS. REMEDIACIONES.

Vial-Alarcón, M. (2022). Uso de suelo en laderas del sector sur de la comuna de Lonquimay (Chile) y sus características estructurales. *Fave. Sección ciencias agrarias*, 21(1), 99-112.

Xu, H., You, C., Tan, B., Xu, L., Liu, Y., Wang, M., ... & Peñuelas, J. (2023). Effects of livestock grazing on the relationships between soil microbial community and soil carbon in grassland ecosystems. *Science of The Total Environment*, 881, 163416.

Yu, L., Sun, W., & Huang, Y. (2021). Grazing exclusion enhances plant and topsoil carbon stocks in arid and semiarid grasslands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 320, 107605.

Zhou, G., Zhou, X., He, Y., Shao, J., Hu, Z., Liu, R., ... & Hosseinibai, S. (2017). Grazing intensity significantly affects belowground carbon and nitrogen cycling in grassland ecosystems: A meta-analysis. *Global change biology*, 23(3), 1167-1179.