



**Universitat**  
de les Illes Balears

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

# **¿PUEDEN LAS CABRAS AFECTAR AL CAMBIO CLIMÁTICO? PREGÚNTALE AL SUELO.**

**Ariadna Orejón Mancilla**

**Grado de Biología**

**Facultad de Ciencias**

**Año Académico 2020-21**



# ¿PUEDEN LAS CABRAS AFECTAR AL CAMBIO CLIMÁTICO? PREGÚNTALE AL SUELO.

**Ariadna Orejón Mancilla**

**Trabajo de Fin de Grado**

**Facultad de Ciencias**

**Universidad de las Illes Balears**

**Año Académico 2020-21**

Palabras clave del trabajo:

*Capra hircus*, ungulados, herbivoría, Tea Bag Index, micorrizas arbusculares, Sierra de Tramontana

*Nombre Tutor/Tutora del Trabajo Elena Baraza Ruíz*

*Nombre Tutor/Tutora (si procede)*

Se autoriza la Universidad a incluir este trabajo en el Repositorio Institucional para su consulta en acceso abierto y difusión en línea, con fines exclusivamente académicos y de investigación

Autor		Tutor	
Sí	No	Sí	No
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



## Índice

<b>Resumen</b> .....	<b>6</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>7</b>
<b>Materiales y métodos</b> .....	<b>9</b>
<b>Resultados</b> .....	<b>12</b>
<b>Discusión</b> .....	<b>13</b>
<b>Conclusión</b> .....	<b>15</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>15</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>16</b>

## Resumen

El cambio climático es un fenómeno global que tiene efectos negativos para la flora y la fauna del planeta, afectando a numerosos factores como a la producción primaria bruta. Los herbívoros juegan un papel importante ya que sin ellos habría consecuencias graves respecto al ciclo del carbono y por tanto en el cambio climático. La acumulación de C en el suelo está directamente relacionada con las tasas de descomposición y estabilización de la materia orgánica en el suelo, las cuales a su vez dependen de la cubierta vegetal. Los herbívoros pueden alterar la capacidad del suelo de acumular C mediante la modificación de la vegetación, la compactación del suelo y el aporte de excrementos y orina. Se realizó un estudio donde se analiza la descomposición de la hojarasca con el método Tea Bag Index estudiando el índice de descomposición  $k$  y el índice de estabilización  $S$  usando bolsas de té Rooibos y té Sencha comparando zonas con presencia o ausencia de la cabra asilvestrada (*Capra hircus L.*).

El índice de descomposición  $k$  no pudo determinarse en todas las parcelas. Las parcelas no explican el índice de estabilización  $S$ , pero se vio incrementado en las zonas de presencia de ungulados. También se analizó el efecto de los ungulados sobre la colonización con hongos formadores de micorrizas arbusculares, ya que se ha visto que estos hongos tienen un papel importante en los ciclos biogeoquímicos del suelo. Sin embargo, no se vio relación entre la presencia de cabras y el grado de micorrización.

## Abstract

Climate change is a global phenomenon that has negative effects on the flora and fauna of the planet, affecting numerous factors such as gross primary production. Herbivores play an important role since without them there would be serious consequences regarding the carbon cycle and therefore on climate change. The accumulation of C in the soil is directly related to the decomposition and stabilization rates of organic matter in the soil, which in turn depend on the plant cover. Herbivores can alter the soil's ability to accumulate C by modifying vegetation, compacting the soil, and supplying excrement and urine. A study was carried out where the decomposition of litter was analyzed with the Tea Bag Index method, studying the decomposition index  $k$  and the stabilization index  $S$  using Rooibos and Sencha tea bags comparing areas with the presence or absence of the feral goat (*Capra hircus L.*).

The decomposition index  $k$  could not be determined in all the plots. The plots do not explain the stabilization index  $S$ , but it was increased in the areas of presence of ungulates. The effect of ungulates on colonization with arbuscular mycorrhizal fungi was also analyzed, since it has been seen that these fungi play an important

role in soil biogeochemical cycles. However, no relationship was seen between the presence of goats and the degree of mycorrhization.

## Introducción

La preocupación respecto al cambio climático está obteniendo de cada vez más peso a nivel global por cómo está alterando la dinámica de los ecosistemas. Este problema se acentúa por el rápido incremento actual en las emisiones de gases de efecto invernadero. Está ocasionando estrés hídrico, aparición de plagas, descenso de polinización, enfermedades y descenso de productividad. El clima influye en la producción primaria bruta a través de los cambios en la radiación solar, precipitación, temperatura y humedad (Barman, 2014) determinando el suministro de luz, agua y nutrientes a las células vegetales (Barman, 2014). Las interacciones planta-suelo participan en un papel fundamental en el ciclo del carbono (también nitrógeno y agua) (Ostle, 2009), pues la vegetación es la encargada de incorporar el C atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis.

Una de las estrategias de las plantas para soportar situaciones de estrés es la realización de simbiosis con hongos, llamadas micorrizas arbusculares. Hay diversos estudios como el de Armada (2016) que afirman las ventajas de esta simbiosis para la captación del carbono y para resistir ante el estrés del calentamiento global. Un cambio en la fotosíntesis por factores ambientales conduce a una modificación en la producción primaria, el C total en la vegetación, el suelo y los ecosistemas (Sakalli, 2017). Con la relación entre la raíz de la planta y el hongo se puede estudiar la biología de ambos componentes bióticos y su vínculo con la productividad forestal. La influencia de las micorrizas es crítica para obtener las respuestas de los ecosistemas y retroalimentaciones al cambio climático (Terrer, 2016). La simbiosis micorrícica ha brindado una serie de beneficios como el suministro de carbono al hongo por parte de la planta y una eficiente captación del agua y nutrientes del suelo por parte del hongo, lo que ha conseguido elevar la tolerancia al estrés abiótico y biótico (Smith y Read, 2008; Bonfante y Selosse, 2010) como serían sequías, salinidad, herbivoría, temperaturas y enfermedades debidas a simbiosis fúngicas (Rodríguez et al., 2008; Ahanger et al., 2014; Salam et al., 2017).

Por otro lado, los herbívoros tienen influencias notables en las comunidades vegetales y los procesos de los ecosistemas, llegando a cambiar la composición de la vegetación, diversidad de especies vegetales y la productividad (Huntly 1991, Mulchunas et al., 1988; Mc Naughton et al., 1989). La herbivoría afecta a propiedades de los ecosistemas que son importantes para la regulación del intercambio de los gases de efecto invernadero (Zimov y col., 1995; Gornall et

al., 2007; Van der Wal y Brooker, 2004) contribuyendo de esta forma al ciclo del carbono. Ayudan también a impedir la propagación de incendios. (Pareja et al., 2020). Gracias a la diseminación de sus heces, el suelo obtiene un abono natural siendo también un importante medio de dispersión de semillas de la flora. (Baraza & Fernández-Osorez, 2013; Giordani et al., 2015; Muñoz-Gallego et al., 2019). Además, la presencia de herbívoros implica una serie de cambios que pueden afectar a las simbiosis establecidas por las plantas que consumen, especialmente a los hongos formadores de micorrizas (van der Heyde et al., 2019). Los herbívoros ayudan también a aumentar la disponibilidad del N a través de heces y orina (Huntly, 1991), el sobrepastoreo puede llevar a la compactación del suelo (Wallace, 1987), lo que ralentiza los ciclos y limita la acumulación de agua en el suelo.

En el suelo encontramos la hojarasca. Tiene una relación importante con la formación del suelo y la conservación de su fertilidad (Rubiano-Cardona, 2013). Los grandes herbívoros tienen un papel fundamental en promover la descomposición de la hojarasca (Wang, 2018). Realizan modificaciones en la calidad según la relación carbono-nitrógeno y en las propiedades bióticas y abióticas del suelo (Wang, 2018).

El lugar de este estudio se realizó en la Sierra de Tramontana, Mallorca, espacio natural y protegido caracterizado por la diversidad de su paisaje forestal caracterizado por sus pinares y encinares además de un paisaje agrícola como olivares. También es reconocida por sus acantilados y barrancos y cavidades subterráneas. Una especie mamífera que juega un papel en este estudio es la cabra salvaje mallorquina asilvestrada, *Capra hircus* (Linneo). Es un animal muy bien adaptado a zonas de acantilado y presenta gran importancia biológica. Estos caprinos son en general la especie clave que regula la dinámica de los ecosistemas de montaña en Mallorca. La presencia de un ungulado ancestral endémico, *Myotragus balearicus*, hace pensar en los herbívoros como un factor de selección siempre presente para la vegetación de la isla (Alcover et al. 1999).

El equilibrio de la producción primaria y la respiración impulsan las emisiones de carbono a los ecosistemas (Wieder & Lang, 1982). Por ello, este estudio se centra en el método Tea Bag Index (Keuskamp et al., 2013). El método del Tea Bag Index es un método de estudio de la variación del peso de bolsas de té verde Sencha y Rooibos tras un periodo de tiempo determinado enterradas. La pérdida de peso indica cuánto material vegetal, en este caso té, se ha descompuesto. De esta forma se facilita la comparación de datos entre ecosistemas y tipos de suelo ya que ambos tipos de té proporcionan materia orgánica al suelo (Keuskamp et al., 2013). Así se aumenta la formación de humus y se estimula a los microorganismos para realizar la descomposición de las bolsas de té, hechas de nylon (Keuskamp et al., 2013). Enterrando estos dos tipos de té juntos y en distintas zonas se puede obtener una comparativa del grado de descomposición (Keuskamp et al., 2013). Cuanto mayor sea el grado de descomposición, más



evidencia habrá de los microorganismos activos que hay en las zonas seleccionadas. Así se obtiene información sobre el estado de nuestros suelos. Con el método del Tea Bag Index se estudiarán el índice de estabilización S, que es el grado en el que la hojarasca se descompone, y la tasa de descomposición k, que indica la velocidad a la que ocurre la descomposición (Keuskamp et al., 2013).

De esta forma, con las bolsas de té se puede medir la cantidad y la velocidad en la que se descompone el material vegetal (Keuskamp et al., 2013). Esta descomposición es importante para el ciclo del carbono, que está contribuyendo a afectar al cambio climático (Keuskamp et al., 2013). Cuando el material del suelo se descompone, el suelo libera CO<sub>2</sub> (Keuskamp et al., 2013). La velocidad y el grado de descomposición determinan la cantidad de CO<sub>2</sub>, gas de efecto invernadero, liberado al aire (Keuskamp et al., 2013).

El objetivo de este estudio es obtener información sobre la descomposición de materia orgánica en el suelo y el grado de micorrización en diferentes zonas de la Sierra de Tramontana con presencia o ausencia de cabra asilvestrada. Se analizará la tasa de descomposición k y el índice de estabilización S enterrando bolsas de té Rooibos y de té Sencha para así saber si la presencia de ungulados aumenta o disminuye los valores de k y S.

## Materiales y métodos

### Área de muestreo

El estudio se realizó en la Sierra de Tramontana. Constituye una región montañosa abrupta al norte (39°48'28"N 2°47'37"E) de la isla de Mallorca con una extensión de unos 90km de largo y 15km de ancho que destaca por su particular flora y vegetación con especies endémicas gracias a su aislamiento.

### Presencia de cabras

Se seleccionaron 30 parcelas de forma aleatoria por toda la Sierra (Figura 1). En cada parcela se seleccionaron también de manera aleatoria dos transectos lineales de 20m. Se hizo un recuento de grupos de heces a partir de un metro en perpendicular del transecto. De esta forma se quiso determinar la presencia o ausencia de la cabra mallorquina en las diferentes parcelas.



Figura 1: Parcelas seleccionadas de forma aleatoria en la Sierra de Tramontana.

## Análisis del Tea Bag Index

Con intención de comprender mejor los efectos de las comunidades microbianas en el almacenamiento y liberación de carbono, Keuskamp y compañía (2013) desarrollaron un protocolo universal para medir la tasa de descomposición en cualquier tipo de entorno. Este método puede producir los dos parámetros que describen la tasa de descomposición ( $k$ ) y el factor de estabilización de la hojarasca ( $S$ ) mediante la construcción de una tabla de datos sobre la descomposición utilizando dos materiales de hojarasca diferentes con un grado de descomposición contrastante, es decir, té verde y té rooibos. Se pesaron un total de 280 bolsas de té: 140 de Sencha (verde) y 140 de Rooibos, con bolsa e hilo incluidos. Se etiquetaron con un número cada bolsa de té para evitar confusiones en los pesos. Posteriormente, en cada parcela se enterraron cinco parejas de ambos tipos de té (Figura 2). Cada bolsa se enterró unos diez centímetros de profundidad. A un palmo de distancia se entierra de la misma forma la otra bolsa de té. En medio de ellas se hinca un clavo con una etiqueta de aluminio rotulada en lápiz con el número de cada bolsa.



Figura 2: Ejemplo de las bolsas de té Rooibos y té Sencha enterradas.

Para cuantificar la pérdida de masa, las bolsas de té se volvieron a pesar después del secado. Las bolsitas de té se colocaron en la misma balanza analítica. Los cálculos de la tasa de descomposición ( $k$ ) y el factor de estabilización ( $S$ ) para cada bolsita de té se realizaron de acuerdo con las fórmulas que se encuentran dentro del protocolo de TBI ([http://www.teatime4science.org/calculation\\_tbi\\_v2W/](http://www.teatime4science.org/calculation_tbi_v2W/)). Los valores de  $k$  representan la dinámica a corto plazo de nuevos suministros de nutrientes, mientras que los de  $S$  son indicativos del almacenamiento de carbono a largo plazo (Keuskamp et al., 2013).

## Colonización de las raíces por micorrizas arbusculares

Para determinar el nivel de colonización por micorrizas arbusculares, se tomaron muestras de raíces finas (2 cm) recogidas de muestras de suelo en cada una de las parcelas. Se rellenaron cuatro cajitas de tinción con muestras de raíces de cada parcela para obtener réplicas suficientes y hacer un conteo correcto de micorrizas. Estas muestras de raíces se guardaron en un bote con etanol dentro de la nevera para su posterior tinción y observarlas en el microscopio.

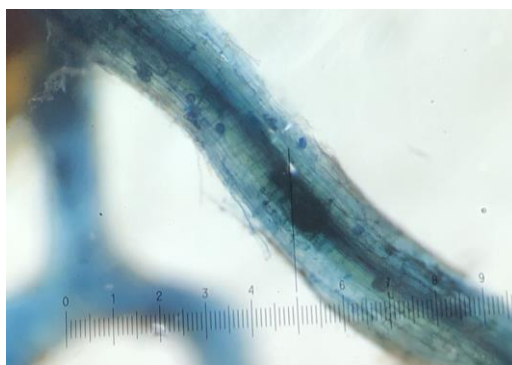


Figura 3: Observación en microscopio de micorrizas arbusculares en raíces de muestras de suelo obtenidos de las parcelas.

### Método de tinción

La tinción se realiza con la técnica de Azul Tripán (Phillips & Hayman, 1970). Los pasos realizados fueron los siguientes:

1. Clarificación: 10 minutos a KOH (10%) previamente hervido. Si las raíces son muy gruesas, se hace más de un baño hasta que la disolución se vea menos turbia (menos taninos).

Tras ello, se lava con agua de caño tres veces y se recicla el agua del primer lavado de KOH. Se vierten las muestras en solución H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 10% a temperatura ambiente el mismo tiempo que se ha aplicado en el paso anterior (unos 10 minutos). Se lava con agua de caño otras tres veces.



Figura 4: Tinción de las raíces con la técnica de Azul Tripán.

2. Neutralización: se mantiene en solución HCl al 2% durante diez minutos. Se lava con agua de caño hasta tres veces. Si las raíces no han quedado blancas, se repite el proceso de clarificación dejando actuar más tiempo el KOH.

3. Tinción: Con Azul Tripán previamente hervido al 0,05% en ácido láctico durante 4 minutos. Se lava con agua las veces que sean necesarias hasta que las raíces no tiñan el agua.

4. Conservación en glicerol al 50% en frigorífico a 4°C.

En el laboratorio se sacan las raíces del frigorífico para hacer las observaciones en lupa. Se toman treinta raíces por cajitas muestra y se cuentan cuántas de

estas poseen micorrizas. De esta forma se observará la dinámica de cada parcela respecto a las simbiosis de las plantas con los hongos.

### Análisis estadístico de los datos

El análisis estadístico se realizó con el programa JMP. Se utilizaron modelos generales mixtos (Kuznetsova et al., 2017). Permiten modelizar investigaciones en presencia de observaciones correlacionadas (Badiella, 2011) y permiten mejorar la calidad del análisis de los factores fijos y factores aleatorios (Dicovski & Pacheco, 2017). Así se busca cualquier efecto de la presencia de herbívoros, sobre las variables respuesta considerando la parcela como factor aleatorio para evitar problemas de pseudorreplicación. De esta manera se consideró la presencia y la ausencia de ungulados como factor fijo y las parcelas se consideraron el factor aleatorio.

## Resultados

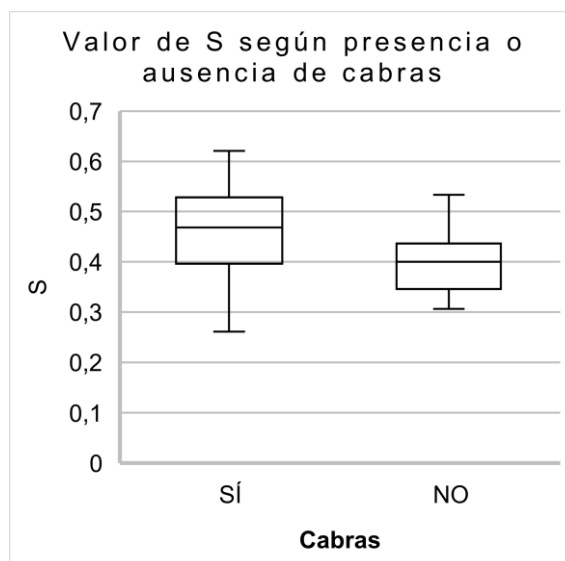
De las 280 bolsas de té se recuperaron un total de 224 con la pérdida de 56 debido a los desplazamientos de tierra y desprendimientos entre invierno y primavera. Las bolsas tuvieron que desenterrarse tras seis meses, a partir del mes de junio a causa de la pandemia por SARS-CoV-2 y el confinamiento. Por tanto, las bolsas estuvieron más tiempo enterradas de lo estipulado.

Tras obtener los valores de k con la plantilla de Keuskamp y compañía, se vio que ambos tipos de té habían llegado a su descomposición total. De esta forma, no se pudieron obtener los valores de K para 20 casos. Con los datos obtenidos, no se observaron diferencias significativas entre parcelas con o sin ungulados para k (Tabla 1).

<b>Test de Efectos Fijos</b>					
<b>Fuente</b>	<b>Nparm</b>	<b>Grados libertad</b>	<b>DF Den</b>	<b>Fracción F</b>	<b>Probabilidad &gt; F</b>
Cabras	1	1	23,27	0,535	0,4848

Tabla 1: Resultados sobre los efectos entre la presencia o ausencia de ungulados sobre el valor de K.

Los valores de S resultaron significativamente más altos en zonas con presencia de cabra que en zonas con ausencia de ésta (Gráfica 1).



Gráfica 1: valores medios de S representados según la ausencia o la presencia de ungulados.

El factor aleatorio “parcela” llegó a explicar cerca del  $\approx 22\%$  de la variabilidad total. La presencia y ausencia explican el índice de estabilización S, pero las parcelas no tienen efecto sobre S al ser un porcentaje relativamente bajo, por lo que la presencia de cabras sí que es un factor determinante respecto a S, pero las parcelas no tendrían un efecto condicionante en la estabilización de la descomposición de las bolsitas de té.

Test de Efectos Fijos					
Fuente	Nparm	Grados de Libertad	DFDen	Fracción F	Probabilidad > F
Cabras	1	1	25,13	58,891	0,0227*

Tabla 2: Resultado del p-valor entre la variable respuesta S y el factor fijo. Se observa un p-valor de  $p=0,0227$ .

El grado de micorrización de las raíces observadas no parece verse afectado por la presencia de las cabras ( $p=0,245$ , tabla 4).

## Discusión

Los herbívoros desempeñan un papel fundamental influyendo en los procesos clave del ecosistema y la descomposición de los nutrientes (Leroux y Loreau 2010; Hawlena et al. 2010). En este estudio se propuso estudiar el efecto de la

presencia y la ausencia de ungulados sobre el suelo. Concretamente, se estudió el índice de descomposición  $k$ , el índice de estabilización  $S$  y el grado de micorrización en raíces recogidas de muestras de suelo.  $S$  y  $k$  pueden usarse como estimadores significativos para comparar y caracterizar la dinámica de descomposición de carbono entre diferentes biomas, ecosistemas y tipos de suelo (Keuskamp, 2012). En estudios anteriores se sabe que  $k$  indica la relación de la caída de hojarasca con su propia acumulación (Álvarez-Sánchez, 2001). En cualquier ecosistema, los ungulados pueden afectar indirectamente la descomposición (Ramírez et al., 2020). El pisoteo puede reducir la cantidad de biota del suelo (Bressete et al, 2012) y de esta forma se ralentiza la descomposición por invertebrados, hongos y bacterias. A través de la descomposición, los microorganismos liberan carbono (C) previamente almacenado como C orgánico en el suelo a la atmósfera como dióxido de carbono, un gas de efecto invernadero (Kocejka 2019).

Se encontró que los componentes de las bolsas de té llegaron a su máxima descomposición al haber estado tanto tiempo enterradas. De esta forma no se pudieron conseguir resultados adecuados sobre el índice de descomposición  $k$  para esclarecer cómo afecta la presencia o ausencia de cabras en la Sierra de Tramontana respecto a la velocidad de descomposición de la materia. Ésta sólo puede determinarse en las primeras etapas de descomposición (Keuskamp et al., 2013). En condiciones adecuadas se habría obtenido una  $k$  de té Rooibos más baja en comparación con la del té Sencha (Keuskamp et al. 2013) ya que tarda más en descomponerse. En estudios como en el de Ramírez y compañía (2020) se observó que las parcelas con ungulados presentaban una menor profundidad de hojarasca debido al pisoteo y de esta forma una menor tasa de descomposición en sus bolsas de té.

Se obtuvo un valor mayor índice de estabilización  $S$  en las zonas con presencia de cabras. Esto implica una retención del carbono en el suelo y por consiguiente se evitaría la emanación de  $CO_2$  a la atmósfera. En estudios recientes como el de Macías-Fauria y compañía (2020) sugieren que introducir grandes herbívoros en tundra ártica podría ayudar a disminuir considerablemente las emanaciones de carbono que están asociadas al deshielo aumentando la captura de carbono en el suelo. De esta forma se conseguiría mitigar los efectos del cambio climático y proteger los ecosistemas.

Por otro lado, la parcela sólo explicó un 22% de la variabilidad en el índice de estabilización  $S$ , lo que indica que, a pesar de la alta heterogeneidad en las condiciones de las diversas localizaciones usadas en el estudio, estas sí actuaron como verdaderas réplicas que nos permiten analizar el efecto de la presencia de cabras.

Finalmente, en este estudio no se hallaron relaciones significativas entre los niveles de micorrización y el grado de herbivoría. La presencia de cabras no

afecta al grado de micorrización en raíces. En estudios anteriores (García et al., 2019) se vio que las micorrizas muestran respuestas distintas y a su vez contradictorias a la herbivoría al ser beneficiadas, perjudicadas o directamente no ser afectadas. Por ejemplo, Guo y compañía (2016) hallaron efectos positivos del pastoreo sobre la micorrización en praderas del Serengeti. Grigera y compañía (2004) observaron que el grado, así como la duración en el tiempo del pastoreo provocaron efectos negativos sobre las micorrizas arbusculares. Heyde y compañía (2017) notificaron que el grado de colonización por micorrizas no se vio afectada por el pastoreo en zonas de praderas montañosas. Hasta ahora se ha planteado una explicación de por qué podría haber una ausencia en el efecto de la herbivoría sobre el grado de micorrización en las raíces (Lugo et al., 2003), donde se plantea que puede ser porque pueden ser suelos pobres en fósforo. Por otro lado, se plantea el efecto de la defoliación, que provocaría el aumento de la fotosíntesis y el crecimiento de la planta (Walling & Zabinski, 2006).

## Conclusión

Las bolsas de té no deben estar enterradas más tiempo del estipulado. Así, en un futuro se podrá conocer el índice de descomposición  $k$  teniendo en cuenta la presencia de cabras en la Sierra de Tramontana. De esta forma podrá estudiarse con más precisión la velocidad de descomposición de la hojarasca en presencia de este herbívoro.

No obstante, la presencia de cabras asilvestradas y ocasionalmente ovejas ayuda a la retención del carbono en el suelo. Por esta razón, el carbono no se desprende a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>. Puede sacarse en claro que la presencia de este animal contribuye a que el cambio climático no se vea acelerado gracias al efecto que tiene sobre la retención de carbono en el suelo.

En las parcelas estudiadas no se encontró un efecto significativo de la presencia de cabras sobre el grado de colonización por micorrizas arbusculares en las raíces, por lo que el pastoreo no estaría afectando a esta simbiosis.

## Agradecimientos

En primer lugar, mi más sincero agradecimiento a mi tutora Elena Baraza por su impecable compromiso e implicación en cada parte del trabajo. A mis amigos por los ánimos constantes. Finalmente, a toda mi familia, especialmente a Jesús Miguel Orejón, María José Mancilla y a Luis Miguel Vives por acompañarme a las zonas del trabajo de campo, por el incondicional apoyo que me siempre me han ofrecido y por creer en mí.

## Bibliografía

**Armada Rodríguez, E. (2015).** Efectos de microorganismos rizosféricos autóctonos (bacterias y hongos micorrízico arbusculares) sobre la tolerancia de las plantas al déficit hídrico en zonas semiáridas: Mecanismos implicados. Universidad de Granada. Tesis Doctorales. <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/41123/25539280.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**Ashraf, M., Akram, N. A., Al-Qurainy, F., & Foolad, M. R. (2011).** Drought Tolerance. Roles of Organic Osmolytes, Growth Regulators, and Mineral Nutrients. *Advances in Agronomy*, 111, 249-296. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387689-8.00002-3>

**Alcover, J. A., Perez-Obiol, R., Yll, E. I., & Bover, P. (1999).** The diet of *Myotragus balearicus* Bate 1909 (*Artiodactyla: Caprinae*), an extinct bovid from the Balearic Islands: Evidence from coprolites. *Biological Journal of the Linnean Society*, 66(1), 57-74. <https://doi.org/10.1006/bijl.1998.0260>

**Álvarez Sánchez, J. (2001).** Descomposición y ciclo de nutrientes en ecosistemas terrestres de México. *Acta zoológica mexicana (n.s.)*, 11-27. <https://doi.org/10.21829/azm.2001.8401843>.

**Badiella, L. (2011).** Modelos lineales generalizados mixtos algunos casos prácticos [Diapositivas de PowerPoint]. Universidad Autónoma de Barcelona. Recuperado 21 diciembre, 2020, de [http://sidor.uvigo.es/xsgapeio/descargas/Llorenc\\_Badiella\\_presentacion.pdf](http://sidor.uvigo.es/xsgapeio/descargas/Llorenc_Badiella_presentacion.pdf)

**Baraza, E. and Fernández-Osores, S. (2013),** The role of domestic goats in the conservation of four endangered species of cactus: between dispersers and predators. *Appl Veg Sci*, 16: 561-570. <https://doi.org/10.1111/avsc.12027>

**Barman, R., Jain, A.K. and Liang, M. (2014),** Climate-driven uncertainties in modeling terrestrial gross primary production: a site level to global-scale analysis. *Glob Change Biol*, 20: 1394-1411. <https://doi.org/10.1111/gcb.12474>

**Bonfante, P. y Selosse, M.A. (2010).** A glimpse into the past of land plants and of their mycorrhizal affairs: from fossils to evo-devo. *New Phytologist* 186: 267–270



**Bressette, H. Beck, V.B. Beauchamp (2012)** Beyond the browse line: complex cascade effects mediated by white-tailed deer *Oikos*, 121 (2012), pp. 1749-1760

**Cornwell, W. K., Cornelissen, J. H., Amatangelo, K., Dorrepaal, E., Eviner, V. T., Godoy, O., Hobbie, S. E., Hoorens, B., Kurokawa, H., Pérez-Harguindeguy, N., Quested, H. M., Santiago, L. S., Wardle, D. A., Wright, I. J., Aerts, R., Allison, S. D., van Bodegom, P., Brovkin, V., Chatain, A., Callaghan, T. V., ... Westoby, M. (2008)**. Plant species traits are the predominant control on litter decomposition rates within biomes worldwide. *Ecology letters*, 11(10), 1065–1071. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01219.x>

**Dicovski Riobóo, L. M., & Pedroza Pacheco, M. E. (2018)**. Modelos Lineales Generales Y Mixtos En La Caracterización De La Variable Calificación, Ingeniería Agroindustrial, Uni-Norte. *Nexo Revista Científica*, 30(2), 84-95. <https://doi.org/10.5377/nexo.v30i2.5527>

**Garcia, Silvina & Pezzani, Fabiana & Lezama, Felipe & Paruelo, José. (2019)**. Los componentes del pastoreo afectan de forma diferencial las micorrizas en *Paspalum dilatatum* Poir. *Ecología Austral*. 29. 164-173. [10.25260/EA.19.29.2.0.802](https://doi.org/10.25260/EA.19.29.2.0.802).

**Giordani, L., Baraza, E., Camargo-Ricalde, S. L., & Moe, S. R. (2015)**. The domestic goat as a potential seed disperser of *Mimosa luisana* (Leguminosae, Mimosoideae) in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Journal of Tropical Ecology*, 31(1), 91.

**Gornall, J. L., Jónsdóttir, I. S., Woodin, S. J., & Van der Wal, R. (2007)**. Arctic mosses govern below-ground environment and ecosystem processes. *Oecologia*, 153(4), 931–941. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0785-0>

**Grigera, G., and M. Oesterheld. (2004)**. Mycorrhizal colonization patterns under contrasting grazing and topographic conditions in the flooding pampa (Argentina). *Journal of Range Management* 57:601-605.

**Guo, Y., Q. Du, G. Li, Y. Ni, Z. Zhang, W. Ren, and X. Hou. (2016)**. Soil phosphorus fractions and arbuscular mycorrhizal fungi diversity following long-term grazing exclusion on semi-arid steppes in inner Mongolia. *Geoderma* 269:79-90.

**Hawlena, D., & Schmitz, O. J. (2010)**. Herbivore physiological response to predation risk and implications for ecosystem nutrient dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(35), 15503–15507. <https://doi.org/10.1073/pnas.1009300107>

**Heyde, M., Bennett, J., Pither, J., & Hart, M. (2017).** Longterm effects of grazing on arbuscular mycorrhizal fungi. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 243, 27-33.

**Huntly, N. (1991).** Herbivores and the Dynamics of Communities and Ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 22, 477-503. Retrieved January 26, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/2097271>

**Keuskamp, J.A., Dingemans, B.J.J., Lehtinen, T., Sarneel, J.M. and Hefting, M.M. (2013).** Tea Bag Index: a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems. *Methods Ecol Evol*, 4: 1070-1075. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12097>

**Keuskamp, J. A., Dingemans, B. J. J., Sarneel, J. M., & Sandén, T. (2012).** Tea Bag Index for mapping global soil function. *Research Gate*. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/233933774\\_Tea\\_Bag\\_Index\\_for\\_mapping\\_global\\_soil\\_function](https://www.researchgate.net/publication/233933774_Tea_Bag_Index_for_mapping_global_soil_function)

**Koceja, Megan. (May 2019).** Consequences of Long-Term Fertilization on Wetland Microbial Function (Honors Thesis, East Carolina University). Retrieved from the Scholarship. (<http://hdl.handle.net/10342/7347>.)

**Kuznetsova, A., Brockhoff, P., & Christensen, R. (2017).** lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software*, 82(13), 1 - 26. doi: <http://dx.doi.org/10.18637/jss.v082.i13>

**Leroux, S.J. and Loreau, M. (2010),** Consumer-mediated recycling and cascading trophic interactions. *Ecology*, 91: 2162-2171. <https://doi.org/10.1890/09-0133.1>

**Lugo, M. A., González Maza, M. E., & Cabello, M. N. (2003).** Arbuscular mycorrhizal fungi in a mountain grassland II: Seasonal variation of colonization studied, along with its relation to grazing and metabolic host type. *Mycologia*, 95(3), 407–415.

**Macias-Fauria, M. (2020).** Rewilding could help stop Arctic permafrost thaw and reduce climate change risks. University of Oxford. <https://www.ox.ac.uk/news/2020-01-27-rewilding-could-help-stop-arctic-permafrost-thaw-and-reduce-climate-change-risks>

**McNaughton, S. J., Oesterheld, M., Frank, D. A., & Williams, K. J. (1989).** Ecosystem-level patterns of primary productivity and herbivory in

terrestrial habitats. *Nature*, 341(6238), 142–144.  
<https://doi.org/10.1038/341142a0>

**Milchunas, D., Sala, O., & Lauenroth, W. (1988).** A Generalized Model of the Effects of Grazing by Large Herbivores on Grassland Community Structure. *The American Naturalist*, 132(1), 87-106. Retrieved January 26, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/2461755>

**Muñoz-Gallego, R., Fedriani, J. M. et Traveset, A. (2019).** Non-native Mammals Are the Main Seed Dispersers of the Ancient Mediterranean Palm *Chamaerops humilis* L. in the Balearic Islands: Rescuers of a Lost Seed Dispersal Service?. *Frontiers*. doi:10.3389/fevo.2019.00161

**Ostle, N.J., Smith, P., Fisher, R., Ian Woodward, F., Fisher, J.B., Smith, J.U., Galbraith, D., Levy, P., Meir, P., McNamara, N.P. and Bardgett, R.D. (2009),** Integrating plant–soil interactions into global carbon cycle models. *Journal of Ecology*, 97: 851-863. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01547.x>

**Pareja, J., Baraza, E., Ibáñez, M., Domenech, O., & Bartolomé, J. (2020).** The Role of Feral Goats in Maintaining Firebreaks by Using Attractants. *Sustainability*, 12(17), 7144.

**Phillips, J.M., Hayman D.S., (1970).** Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection, *Transactions of the British Mycological Society*, Volume 55, Issue 1, 1970, Pages 158 -188, ISSN 0007-1536, [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3).

**Ramirez, J.I., Jansen, P.A., den Ouden, J. et al (2020).** Above- and Below-ground Cascading Effects of Wild Ungulates in Temperate Forests. *Ecosystems* (2020). <https://doi.org/10.1007/s10021-020-00509-4>

**Rodriguez, R. J., Henson, J., Van Volkenburgh, E., Hoy, M., Wright, L., Beckwith, F., Kim, Y. O., & Redman, R. S. (2008).** Stress tolerance in plants via habitat-adapted symbiosis. *The ISME journal*, 2(4), 404–416. <https://doi.org/10.1038/ismej.2007.106>

**Rubiano-Cardona, Kelly, Arcila-Cardona, Luisa Fernanda, Jiménez-Carmona, Elizabeth, & Armbrrecht, Inge. (2013).** Production, accumulation, and decomposition of leaf litter in a colombian subandean forest and neighboring areas of restoration. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 17(2), 47-59. Retrieved January 26, 2021, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-30682013000200004&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30682013000200004&lng=en&tlng=en)

**Salam, E. A., Alatar, A., El-Sheikh, M. A. (2017).** Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi alleviates harmful effects of drought stress on damask rose. *Saudi J. Biol. Sci.* 25 (8), 1772–1780. doi: 10.1016/j.sjbs.2017.10.015

**Sakalli Abdulla, Cescatti Alessandro, Dosio Alessandro, Gücel Ugur Mehmet, (2017)** Impacts of 2°C global warming on primary production and soil carbon storage capacity at pan-European level, *Climate Services*, Volume 7, 2017, Pages 64-77, ISSN 2405-8807, <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2017.03.006>.

**Smith, S. E., & Read, D. J. (2008).** *Mycorrhizal Symbiosis*. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/281764162\\_Mycorrhizal\\_Symbiosis](https://www.researchgate.net/publication/281764162_Mycorrhizal_Symbiosis)

**Tang, H., Nolte, S., Jensen, K., Yang, Z., Wu, J., & Mueller, P. (2020).** Grazing mediates soil microbial activity and litter decomposition in salt marshes. *The Science of the total environment*, 720, 137559. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137559>

**Terrer, C., Vicca, S., Hungate, B. A., Phillips, R. P., & Prentice, I. C. (2016).** Mycorrhizal association as a primary control of the CO<sub>2</sub> fertilization effect. *Science (New York, N.Y.)*, 353(6294), 72–74. <https://doi.org/10.1126/science.aaf4610>

**Wal, R., & Brooker, R. (2004).** Mosses mediate grazer impacts on grass abundance in arctic ecosystems. *Functional Ecology*, 18, 77-86.

**Wallace, L. (1987).** Mycorrhizas in grasslands: interactions of ungulates, fungi and drought. *New Phytologist*, 105, 619-632.

**Walling, S.Z., & Zabinski, C.A. (2006).** Defoliation effects on arbuscular mycorrhizae and plant growth of two native bunchgrasses and an invasive forb. *Applied Soil Ecology*, 32, 111-117.

**Wang, Z., Yuan, X., Wang, D., Zhang, Y., Zhong, Z., Guo, Q., & Feng, C. (2018).** Large herbivores influence plant litter decomposition by altering soil properties and plant quality in a meadow steppe. *Scientific Reports*, 8.

**Wider, R.K., & Lang, G. (1982).** A Critique of the Analytical Methods Used in Examining Decomposition Data Obtained From Litter Bags. *Ecology*, 63, 1636-1642.

**Zimov, S., Chuprynin, V.I., Oreshko, A., Chapin, F., Reynolds, J., & Chapin, M.C. (1995).** Steppe-Tundra Transition: A Herbivore-Driven Biome Shift at the End of the Pleistocene. *The American Naturalist*, 146, 765 - 794.