

Convocatoria AEET-SIBECOL de ayudas a proyectos de investigación ERC en ecología (10ª ed., 2020)

1. Datos de identificación.

Título de la propuesta	Nutrient cycling Aridity Thresholds (ThresNC)
Categoría	Ganando Independencia
Nombre y apellidos del Beneficiario	Miguel Berdugo
Datos de contacto: e-mail y teléfono	mglberdugo@gmail.com 617878659
Departamento/Instituto/Grupo de Investigación/Otros	
Dirección, código postal, provincia	Sandstrasse 9, 5432, Neuenhof, Aargau, Suiza.

2. Memoria Técnica. Actividades y resultados de investigación

2.1. Introducción (Planteamiento, objetivos y justificación)

Varios estudios concluyentes muestran la existencia de ciertos niveles críticos de aridez a partir del cual los llamados drylands (tierras áridas) sufren una pérdida abrupta en la fertilidad de su suelo (Berdugo et al., 2017, 2020; Delgado-Baquerizo et al., 2013; Wang et al., 2014). A pesar de la evidencia acumulada, aún sabemos muy poco acerca de los mecanismos que pueden llegar a desencadenar estos cambios abruptos en ciertos niveles de aridez (Berdugo et al., 2022). Sólo sabemos, hasta ahora, que dichos cambios comportan una reducción drástica del C y N del suelo, un cambio en la composición de las comunidades microbianas y un cambio en el tipo de comunidades de plantas de estos ecosistemas.

Así pues, y basándonos en conocimientos previos, existen varias posibles vías de los mecanismos para desembocar cambios abruptos (Berdugo et al., 2022). Por un lado, cambios en la hojarasca (en sus propiedades) pueden provocar cambios en los organismos descomponedores que acaben desembocando en reducciones de la fertilidad (vía hojarasca). Por otro lado, comunidades microbianas diferentes pueden ser específicas para descomponer mejor ciertos tipos de hojarasca de ciertas maneras (vía comunidad del suelo). Por último, puede ser que el clima sea simplemente el que impone límites fisiológicos a los organismos durante la descomposición de la hojarasca (vía clima).

Para desenmarañar estas posibilidades se propuso un experimento en el que se tomarían dos lugares de España situados a ambos lados del umbral de aridez ya descubierto (uno, en el lado húmedo [aridez <0.7] y otro en el seco [aridez >0.7]). Se obtendría tanto suelo como hojarasca

de estos dos sitios y luego se propondrían dos escenarios climáticos contrastados (simulando alta aridez y baja aridez mediante una combinación de exclusión de lluvia del 30% y calentamiento vía “*open top chambers*”). Se mezclarían todos estos factores (origen de la hojarasca, origen del suelo y tratamiento climático), para concluir sobre cuál de ellos produce a) mayor cambio en las comunidades microbianas; b) mayor capacidad de descomposición de hojarasca.

La propuesta original se produjo como se enseña en el siguiente diagrama en la figura 1 (los cambios ocurridos en la ejecución se indican en rojo entre corchetes en la leyenda):

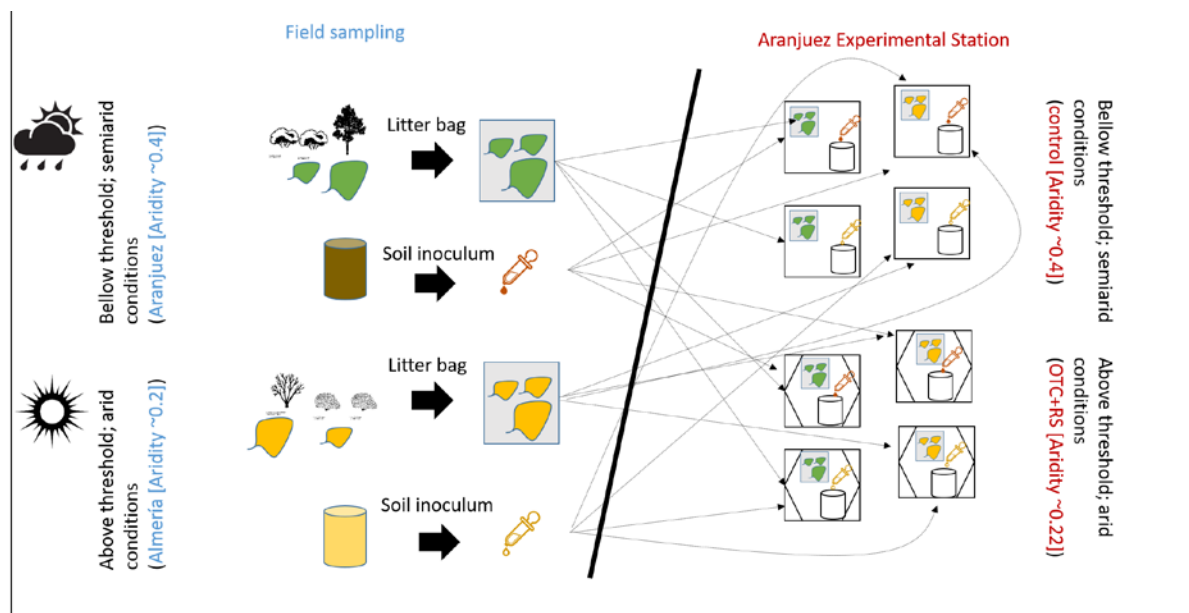


Figura 1. Diagrama del diseño experimental del trabajo original propuesto. Boceto de las dos principales fases del proyecto: muestreo en campo (en azul) y experimento (en rojo). En la fase del muestreo de campo se proponía muestrear hojarasca y suelo de dos sitios con un nivel de aridez contrastado (izquierda arriba vs. abajo [en lugar de Almería se muestreó en Mazarrón, Murcia, en lugar de Aranjuez fue Morata de Tajuña al final]) para preparar con ellos bolsas de hojarasca e inóculos de suelo representativos de la comunidad de plantas/microbiana de cada sitio [al final se utilizaron cores de suelo intactos en vez de inóculos]. Estos son combinados en un experimento factorial completo en la estación experimental de Aranjuez [al final se produjo en Móstoles en la URJC] bajo condiciones de control (derecha arriba) y bajo unidades de calentamiento (OTC) y casetas de precipitación, (derecha abajo), que simulan unas condiciones semiáridas (menor aridez que el umbral) y áridas (mayor aridez que el umbral) respectivamente. Los iconos se han extraído de nounProject bajo licencia Creative Commons.

Referencias:

- Berdugo, M., Delgado-Baquerizo, M., Soliveres, S., Hernández-Clemente, R., Zhao, Y., Gaitán, J. J. J., Gross, N., Saiz, H., Maire, V., Lehmann, A., Rillig, M. C. M. C., Solé, R. V. R. V., Maestre, F. T. F. T., Lehman, A., Rillig, M. C. M. C., Solé, R. V. R. V., & Maestre, F. T. F. T. (2020). Global Ecosystem thresholds driven by aridity. *Science*, 367(6479), 787–790. <https://doi.org/10.1126/science.aay5958>
- Berdugo, M., Kéfi, S., Soliveres, S., & Maestre, F. T. F. T. (2017). Plant spatial patterns identify alternative ecosystem multifunctionality states in global drylands. *Nature Ecology & Evolution*, 1(2), 3. <https://doi.org/10.1038/s41559-016-0003>
- Berdugo, M., Vidiella, B., Solé, R. V., & Maestre, F. T. (2022). Ecological mechanisms underlying aridity thresholds in global drylands. *Functional Ecology*, 36(1), 4–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1365-2435.13962>
- Delgado-Baquerizo, M., Maestre, F. T. F. T., Gallardo, A., Bowker, M. A. M. A., Wallenstein, M. D. M. D., Quero, J. L. J. L., Ochoa, V., Gozalo, B., García-Gómez, M., Soliveres, S., García-Palacios, P., Berdugo, M., Valencia, E., Escolar, C., Arredondo, T., Barraza-Zepeda, C., Bran, D., Carreira, J. A. J. A., Chaieb, M., ... Zaady, E. (2013). Decoupling of soil nutrient cycles as a function of aridity in global drylands. *Nature*, 502(7473), 672–676. <https://doi.org/10.1038/nature12670>
- Wang, C., Wang, X., Liu, D., Wu, H., Lü, X., Fang, Y., Cheng, W., Luo, W., Jiang, P., Shi, J., & others. (2014). Aridity threshold in controlling ecosystem nitrogen cycling in arid and semi-arid grasslands. *Nature Communications*, 5, 4799. <https://doi.org/10.1038/ncomms5799>

2.2. Descripción de la ejecución- Metodología



Figura 2. Cores de suelo extraídos intactos (correspondientes a suelo de Mazarrón).

Aunque el plan original era usar suelo esterilizado e inoculado, al final se utilizaron cores de suelo intactos en lugar de macetas a fin de preservar la estructura del suelo (figura 2). Esto abarató los costes derivados del cultivo de inóculos y es considerado un método mejor para preservar la estructura física de los aglomerados del suelo. Esto significó que se compró y cortó un tubo de PVC en lugar de adquirir macetas para el experimento. Asimismo, los muestreos ocurrieron al final en Morata de Tajuña (Madrid, aridez ~ 0.6) y Mazarrón (Murcia, aridez ~0.8) y el experimento se realizó en las instalaciones de la Universidad Rey Juan Carlos en Móstoles (con aridez similar a Aranjuez pero protegida del público y menos expuesta a hurtos y vandalismo).

A la hora de realizar las extracciones no se pudo comprar material para extracción de ADN del suelo debido a que, en la situación de emergencia pandémica del COVID-19 no se vendían kits

de extracción a particulares. Por fortuna, la colaboración del grupo del Dr. Fernando Maestre permitió utilizar material remanente de un proyecto suyo para las extracciones. Esto significa que este gasto no pudo ser llevado a cabo, aunque las extracciones se realizaron con éxito.

El resto de las actividades reseñadas en el proyecto inicial se han llevado a cabo tal cual fueron descritas. En breve, se muestrearon dos comunidades de plantas en Morata de Tajuña y en



Figura 3. Hojarasca dispuesta en el experimento

Mazarrón (ambas en inicio de Marzo de 2020, ver figura 2), se hicieron bolsitas de hojarasca de nylon con estas muestras (poniendo un porcentaje de masa de hojarasca de distintas especies que simulaba la abundancia relativa de dichas especies de la comunidad) y se dispusieron sobre suelo en cores intactos de ambas localidades en Julio de 2020 (tras una interrupción debido al COVID19 y el correspondiente confinamiento; ver figura 3).

Estos cores se dejaron en la estación experimental de cambio climático de la Universidad Rey Juan Carlos en condiciones ambientales y bajo OTC durante un año (figura 4). Se añadió una tanda extra de hojarasca para medir en un muestreo intermedio y así poder ajustar los tiempos del experimento. Asimismo se añadieron unas bolsas de té Lipton © en unas macetas con suelo sobrante del experimento para medir su descomposición durante los primeros 3 meses y evaluar la actividad biológica del suelo (ver proyecto estandarizado: [tea bag index](#)). En septiembre se realizó el muestreo de una tanda de bolsitas de hojarasca para comprobar el nivel de descomposición alcanzado en una etapa intermedia.



Figura 4. A la izquierda macetas dispuestas en la estación experimental de Móstoles (control) a la derecha en caseta + OTC, simulando una aridez mayor del umbral crítico (aproximadamente 2-3°C de calentamiento y 30% de reducción de lluvia).

En Julio de 2021 se recogieron las bolsitas de hojarasca y se muestreó el suelo, se llevó a la Universidad de Alicante y se extrajo el ADN con la intención de enviarlo a Asutralia.

Debido a problemas en las aduanas, el primer envío de muestras extraídas de ADN se malogró (al no poder mantenerse la cadena de frío tras ser retenidas las muestras). Por fortuna había guardado muestra de sobra en las instalaciones de la Universidad de Alicante y se fue a proceder a un segundo reenvío. Para ello, en diciembre de 2021 se tuvo que volver a viajar a Alicante para evaluar las concentraciones de ADN en la fecha más próxima posible a su envío. Sin embargo, debido a un cambio en la política de aduanas del país de Australia estas muestras no han podido ser enviadas. Al parecer en estos momentos se requiere un listado de las especies a las cuales pertenece el ADN que se requiere secuenciar para poder pasar por la aduana. Esto, en un análisis como el que planteamos resulta imposible (precisamente se quiere secuenciar para saber qué hay). Otras opciones de secuenciación fueron evaluadas en las empresas AllGenetics y la sección de genómica de la Universidad de Valencia. Los presupuestos recibidos por parte de ambas corporaciones fueron del orden del doble de lo presupuestado inicialmente, resultando inviable. Por lo tanto, el análisis de secuenciación no ha podido llevarse a cabo.

En su lugar, en marzo de 2022 se acordó con el instituto de ciencias agrarias (ICA) del CSIC un análisis de las muestras de suelo obtenidas para una exploración de C y N y sus distintas fracciones. Este análisis más completo de los elementos químicos principales del suelo, permitirá concluir, al menos a nivel bioquímico, sobre los efectos de los tratamientos. Asimismo, he acordado con la Universidad de Alicante (el grupo del dr. Fernando Maestre),

una cooperación para el análisis de los extractos de ADN restantes (que finalmente no serán enviados a secuenciar). Aunque no se podrá hacer una secuenciación se realizará un análisis qPCR, que permitirá saber la abundancia de hongos y bacterias de las muestras, dando al menos algunas pistas acerca del cambio en la microbiota del suelo. Estos análisis no permiten una evaluación de la comunidad microbiana con tanto detalle como los inicialmente propuestos pero, dadas las circunstancias, permiten concluir sobre los principales procesos ecosistémicos sobre los que se requería respuesta en un principio. Las muestras de suelo y los extractos restantes de ADN se analizarán en los laboratorios del CSIC y universidad de Alicante (respectivamente) en el próximo mes (el envío de las muestras está en camino).

2.3. Resultados obtenidos (cumplimiento de objetivos)

El muestreo intermedio corroboró unas tasas de descomposición adecuadas para un experimento de un año, con medias de pérdidas de biomasa de alrededor del 10% para Morata y 40% para Mazarrón (ver figura 5), lo que demuestra la labilidad de la hojarasca de Mazarrón a los primeros meses de descomposición.

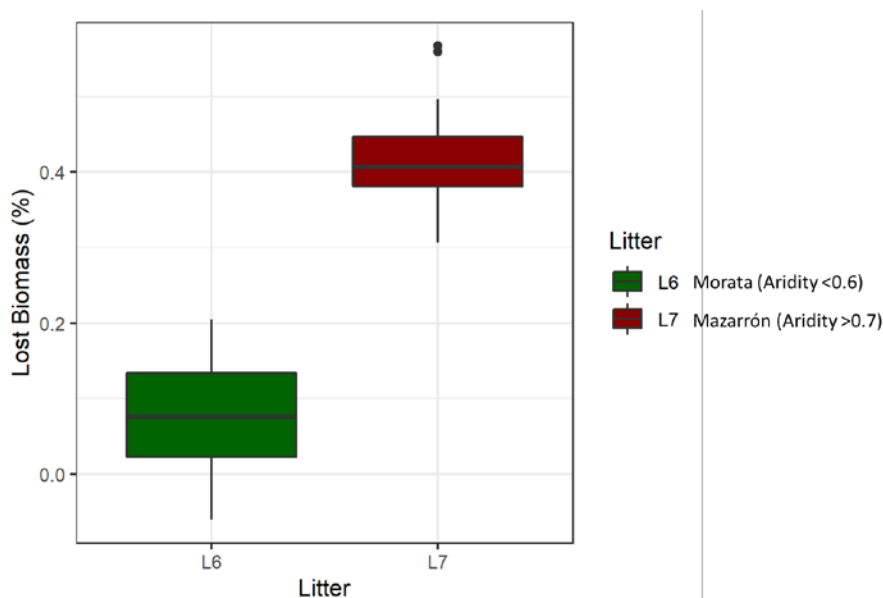


Figura 5. Biomasa perdida para hojarasca Morata y Mazarrón tras 3 meses de experimento (en la recogida intermedia).

Al finalizar el experimento, la biomasa perdida de las bolsitas muestra un efecto claro del tipo de hojarasca (la hojarasca de Mazarrón es más lábil), así como del suelo (el suelo de Mazarrón descompone más) y también una interacción entre el tratamiento climático y la hojarasca (Tabla 1). En este último apreciamos que mientras que el calentamiento elevó las tasas de descomposición de la hojarasca de Morata, no lo hizo con las de Mazarrón (figura 6). Este efecto es interesante, porque parece indicar que cuando la hojarasca proviene de

comunidades de plantas por debajo del umbral de aridez de 0.7 (equivalente al tratamiento de control) traspasar el umbral de aridez pueden experimentar un incremento de la descomposición como se ha visto en otros experimentos. Así mismo, también se constata que las comunidades de Mazarrón (típicas de una aridez mayor de 0.7) parecen adaptadas a una descomposición muy rápida, probablemente intentando que el C se recicle durante los pocos meses benignos (en España en invierno). Probablemente esto provoca pérdidas de C por el fenómeno de lavado del C lábil (los análisis de distintas fracciones de C orgánico darán más pistas a este respecto).

Tabla 1. Resultados de un ANOVA aplicada a los datos de pérdida de peso de las hojarascas.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Treatment	1	0.03807	0.03807	2.244	0.138757	
Soil	1	0.13911	0.13911	8.1995	0.005567	**
Litter	1	2.48928	2.48928	146.7262	< 2.2e-16	***
Treatment:Soil	1	0.00666	0.00666	0.3924	0.533155	
Treatment:Litter	1	0.07653	0.07653	4.511	0.037317	*
Soil:Litter	1	0.00492	0.00492	0.2901	0.591943	
Treatment:Soil:Litter	1	0.02887	0.02887	1.7017	0.196463	

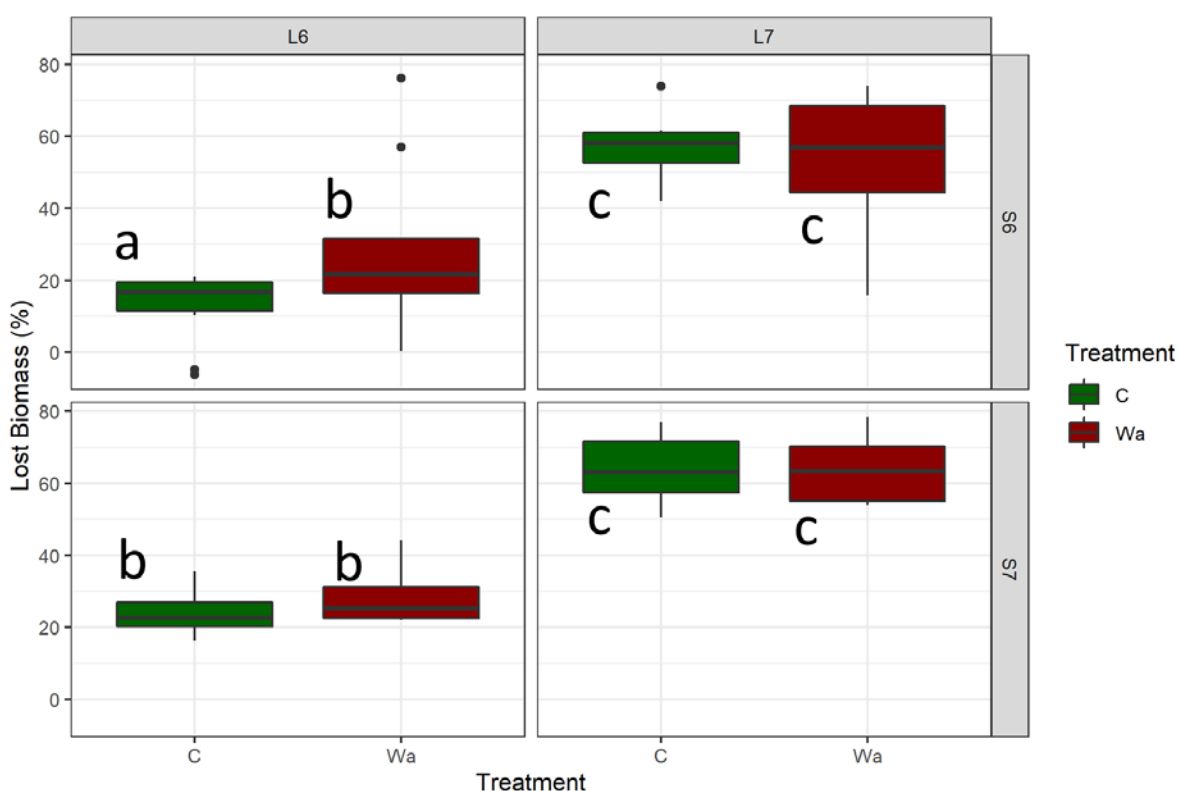


Figura 6. Biomasa perdida (%) para bolsitas de hojarasca de Morata (L6) y Mazarrón (L7) dispuestas en suelos de Morata (S6) y Mazarrón (S7) bajo condiciones de control (aproximadamente como Morata; C) y calentamiento (aproximadamente como Mazarrón; Wa). Las letras indican grupos estadísticamente homogéneos.

La actividad biológica medida con el Tea Bag index (figura 7) demostró mayor actividad biológica en control que en warming para los primeros meses y en general una mayor actividad en suelos de Morata que de Mazarrón. Estos resultados se refieren a bolsas de té enterradas y por ello no se espera que los resultados sean idénticos a los de la hojarasca. Cabe señalar sin embargo la aparente oposición de estos resultados a los generales de descomposición de hojarasca, indicando una enorme importancia de los procesos físicos más que biológicos.

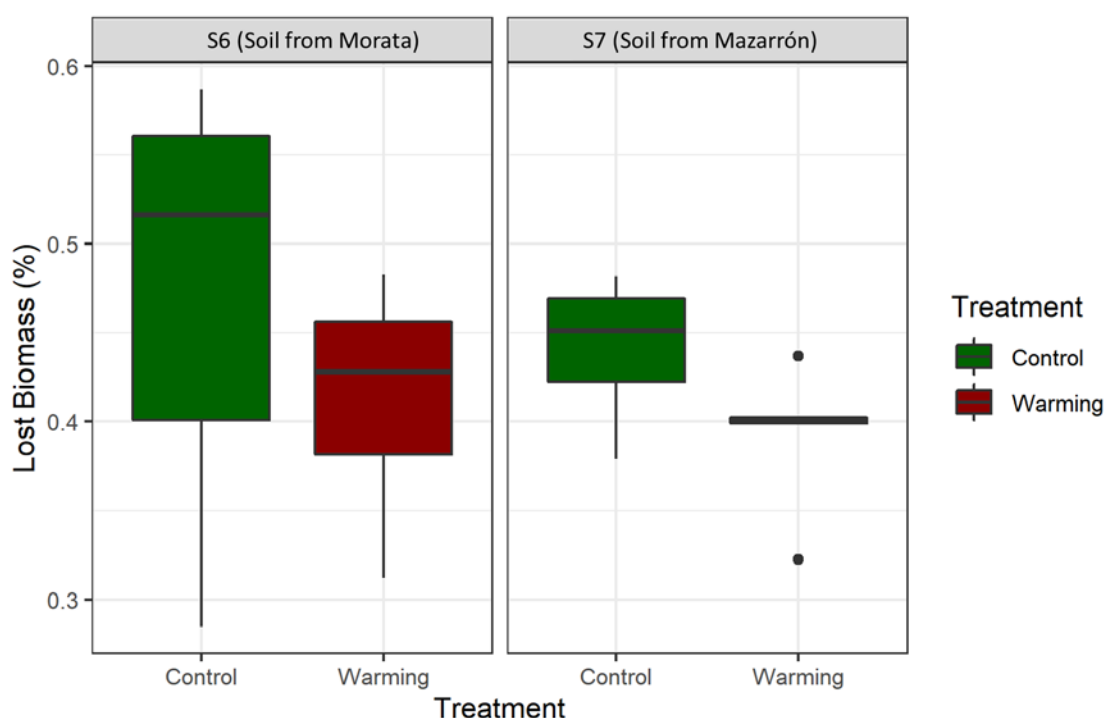


Figura 7. Biomasa perdida (% del total) de las bolsas de té en control y warming dispuestas en suelos de Morata (S6) y Mazarrón (S7).

A estos resultados se añadirán los obtenidos por los análisis químicos de distintas fracciones del C y N, así como indicadores de abundancia relativa de hongos y bacterias. Estos análisis complementarán los observados permitiendo concluir si los tratamientos tienen efectos a nivel biogeoquímico y de microbiota del suelo.

2.4. Conclusiones y valoración de la ejecución

Teniendo en cuenta que la mayor partida presupuestaria originalmente planteada era la implicada en la secuenciación de muestras, la ejecución no ha podido ser tan satisfactoria como se desearía. Dicho esto, los análisis complementarios planteados deberían resultar de

suficiente interés como para complementar la historia principal. De hecho, a falta del análisis de las muestras del suelo, el proyecto muestra indicios de resultar interesante, mostrando una posible interacción entre el tipo de hojarasca y la aridez, que podría explicar parcialmente la inicialización de cambios abruptos en ecosistemas áridos.

El objetivo del proyecto, que era aislar los efectos de la aridez, la hojarasca y el suelo en el proceso de descomposición, parece haber dado resultado.

2.5. Publicaciones resultantes

Aún no se ha realizado ninguna publicación sobre el proyecto. Dicha publicación podría demorarse unos meses hasta conseguir el análisis de las muestras restantes. Después de ello es mi objetivo enviar una publicación con los resultados a *Journal of Ecology* probablemente después del verano

3. Informe de gastos del proyecto. Relación de partidas de gastos y sus importes. Se deberán aportar justificantes originales de los pagos realizados (tickets, recibos o facturas).

A continuación se detallan los gastos acometidos y el nombre de las facturas que así los corroboran (entregadas en un fichero aparte).

Fecha	Tipo de gasto	Gasto	Nombre Factura	Descripción
27/02/2020	Material	3.5	2020-2-27RibesyCasals	Hacer bolsitas
28/02/2020	Viaje	50	2020-2-28Gasolina	Viaje muestreo Madrid
28/02/2020	Viaje	28.33	2020-2-28Gasolina2	Viaje muestreo Madrid
28/02/2020	Viaje	11.45	2020-2-28Peaje	Viaje muestreo Madrid
01/03/2020	Viaje	35.23	2020-3-1Gasolina	Viaje muestreo Madrid
01/03/2020	Viaje	11.45	2020-3-1Peaje	Viaje muestreo Madrid
02/03/2020	Material	31.98	2020-3-2PVCs	Material para cores
02/03/2020	Material	7.51	2020-3-2RibesyCasals	Hacer bolsitas
04/03/2020	Material	87.12	2020-3-4CortesPVC	Corte para los cores
04/03/2020	Viaje	24.71	2020-3-4Gasolina	Viaje Muestreo Suelo Madrid
04/03/2020	Viaje	30	2020-3-4Gasolina2	Viaje Muestreo Suelo Madrid
04/03/2020	Material	33.95	2020-3-4LeroyMerlin	Pala y material
04/03/2020	Viaje	11	2020-3-4Peaje	Viaje Muestreo Suelo Madrid
07/03/2020	Viaje	42.16	2020-3-7Gasolina	Viaje muestreo Alicante
09/03/2020	Material	2.63	2020-3-9RibesyCasals	Material para bolsitas
14/07/2020	Viaje	57.46	2020-7-14Gasolina	Viaje montar experimento
01/09/2020	Viaje	60.21	2020-9-1Gasolina	Viaje control t1
28/07/2021	Viaje	54.19	2021-7-28Gasolina	Viaje desmontar esperimento
20/12/2021	Viaje	79.6	2021-12-20AVE	Viaje extracciones
27/12/2021	Viaje	50	2021-12-27Gasolina	Viaje extracciones
31/3/2022	Análisis biogeoquímicos	1775.12	2022-3-1FacturaCesar	Análisis quimicos del suelo
	SUMA =	2487.60		



Fdo:

En Madrid, a 31 de marzo de 2022