

LIBRO DE RESÚMENES

---

XIII Workshop Remedia

# Los sistemas agrícolas, ganaderos y forestales frente al reto climático

Soluciones para la mitigación desde la ciencia

---

3 - 4 de junio de 2026

Campus de Aula Dei, Zaragoza

**remedia**

Después de 13 años, el Workshop Remedia vuelve a Zaragoza de la mano del CSIC, CIHEAM-Zaragoza, CITA y Universidad de Zaragoza, con el objetivo de convertirse, una vez más, en un foro de intercambio científico sobre aspectos relacionados con la mitigación del cambio climático en sistemas agrícolas, ganaderos y forestales.

Esta edición es especial, ya que el workshop se celebra a continuación del Seminario Científico Internacional sobre Adaptación y Mitigación en el Sector Agroganadero, organizado conjuntamente por el CIHEAM de Zaragoza y el proyecto Remedia+. Ambas actividades convertirán a Zaragoza en el centro de la investigación en cambio climático y agricultura durante la primera semana de junio.

Desde el Comité Organizador esperamos que estos días en Zaragoza sean enriquecedores tanto en el ámbito profesional como en el personal, y confiamos en que disfruten de estos días y de la oportunidad de compartir conocimientos y explorar nuevas colaboraciones.

## **COMITÉ ORGANIZADOR**

Jorge Álvaro Fuentes - CSIC

Ana Ballesteros-López - CITA

Alejandro Belanche - Universidad de Zaragoza

Raúl Compés - CIHEAM Zaragoza

Farida Dechmi - CITA

Samuel Franco-Luesma - CITA

Antonio López-Francos - CIHEAM Zaragoza

Ana Mota - CSIC

## **COMITÉ CIENTÍFICO**

Dolores Baez - CIAM-AGACAL

Maite Martínez-Eixarch - IRTA

Antonio Rafael Sánchez - Universidad de Córdoba

August Bonmatí - IRTA

Jordi Doltra - IRTA

Carmen Biel - IRTA

Ramón Isla - CSIC

Laura Martínez-García - CSIC

Raúl Zornoza - Universidad Politécnica de Cartagena

Beatriz Gómez-Muñoz - CSIC

Victor Rolo - Universidad de Extremadura

Josep Barba - CREAF

Ana Cervera-Mata - CSIC

Margalida Joy - CITA

Carolina Reyes-Palomo - Universidad de Córdoba

Gabriel de la Fuente - Universidad de Lleida

Ivanka Puigdueta - Ceigram, Universidad Politécnica de Madrid

Sergio Colombo - IFAPA

## INDEX

AGRICULTURA – sesiones orales.....	9
Impacto del manejo del barbecho en las emisiones de gases de efecto invernadero del suelo en agroecosistemas semiáridos de secano.....	10
Co-compostaje con biochar para una vitivinicultura baja en carbono: optimizando el secuestro de C y el balance neto de GEI.....	11
Understanding Soil Respiration Dynamics in Mediterranean Rainfed Olive Groves .....	12
Impacto de la PAC en el secuestro de carbono en suelos agrícolas .....	13
Undersowing legume cover crops in Mediterranean rainfed cereals: a regenerative organic practice maintaining yields and soil CO <sub>2</sub> emissions, while suppressing weeds .....	14
Profundizando en los procesos responsables de las emisiones de N <sub>2</sub> O mediante N <sup>15</sup> y técnicas microbianas: resultados obtenidos por el grupo COAPA-UPM en la última década	15
El cultivo de cobertura con veza en arrozales mejora la funcionalidad del suelo y la productividad sin aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero.....	16
Trade-offs Between Soil Health and Nutritional Output in Conventional and Diversified No-Till Irrigated Cropping Systems .....	17
Estandarización y validación de metodologías para la monitorización de emisiones de gases de efecto invernadero .....	18
Efecto del manejo del suelo y la fertilización nitrogenada sobre la funcionalidad microbiana del carbono y su implicación en los servicios ecosistémicos del olivar .....	19
Desarrollo de biofertilizantes a partir de cenizas y gallinaza: Implicaciones en las emisiones de gases de efecto invernadero y amoníaco durante su compostaje .....	20
Integración de la agricultura de conservación y los principios 4R de gestión de nutrientes para una agricultura mediterránea baja en carbono y resiliente al cambio climático .....	21
AGRICULTURA – sesiones flash-talk I.....	22
Influencia de la fertilización de una pradera con purines de vacuno y porcino en la fertilidad del suelo y acumulación de materia orgánica y carbono a diferentes profundidades .....	23
Secuestro de carbono en el suelo mediante la aplicación de prácticas de agricultura regenerativa a escala de parcela en cultivos extensivos de secano. ....	24
Secuestro de carbono en el suelo mediante la aplicación de prácticas de agricultura regenerativa a escala de parcela en cultivos extensivos de regadío. ....	25
Intensificación sostenible mediante rotaciones y cultivos estivales: efectos sobre la eficiencia productiva y las emisiones de N <sub>2</sub> O .....	26
Estruvita y compost de lodo de depuradora: Alternativas a la fertilización mineral de fósforo en la rotación trigo-colza bajo siembra directa y laboreo convencional .....	27
Assessing ammonia emissions from pig slurry application across contrasting climatic conditions .....	28
Aproximación al ahorro de emisiones en el cultivo de maíz usando como estrategias de mitigación el uso de fertilizantes producidos con H <sub>2</sub> verde y con inhibidores .....	29

Análisis de la huella de carbono del trigo blando en el País Vasco bajo diferentes escenarios de fertilización, rotación y sistema de producción .....	30
Efecto de la fertilización orgánica en el secuestro de carbono y emisiones GEI en arrozales	31
Evaluación ambiental de bio-productos innovadores generados a partir de residuos orgánicos: FERTILAB.....	32
Effects of regenerative soil management, organic fertilization, and biological inoculation on edamame productivity and soil health .....	33
Flujos de emisión de CH <sub>4</sub> y NH <sub>3</sub> en alojamientos de porcino de reproductoras en España....	34
Biochar: una estrategia viable para combatir el cambio climático para la agricultura mediterránea .....	35
Phase-Specific Inoculation of <i>Trichoderma harzianum</i> Reduces Cumulative Greenhouse Gas Emissions in Organic Waste Composting.....	36
Evaluación de las emisiones de GEIs bajo diferentes estrategias de fertilización organo-mineral y sistemas de riego en cultivo de brócoli. ....	37
Fertilizantes de base orgánica para mejorar la funcionalidad del suelo en regiones semi-áridas: ciclo de nutrientes y estructura de la comunidad microbiana.....	38
Manejos sostenibles en agricultura: Análisis de Ciclo de Vida. ....	39
Efecto del uso de cubiertas vegetales y fertilizantes orgánicos en las emisiones de gases de efecto invernadero (CO <sub>2</sub> y N <sub>2</sub> O) y secuestro de carbono en suelos de olivar.....	40
<b>AGRICULTURA – sesiones flash-talk II .....</b>	<b>41</b>
Impacto del laboreo intensivo, laboreo tradicional y siembra directa de herbáceas en el carbono orgánico del suelo de la dehesa .....	42
El incremento de temperatura intensifica la fotodegradación de los residuos vegetales y reduce el secuestro de carbono y nutrientes en agroecosistemas semiáridos mediterráneos .....	43
Mecanismos de emisión y secuestro de GEI en suelos salinos: ¿Qué sabemos? .....	44
El análisis de frecuencia de flujos de CO <sub>2</sub> revela y predice el efecto de perturbaciones climáticas en el funcionamiento de agroecosistemas .....	45
Efecto de la implantación de Buenas Prácticas Agrícolas en la capacidad mitigadora de los suelos en explotaciones cerealistas.....	46
Cubiertas vegetales como estrategia de regeneración del suelo y secuestro de carbono en viñedos mediterráneos.....	47
Manejo de cubiertas vegetales en viñedos para la conservación del agua y secuestro de carbono orgánico del suelo en escenarios de cambio climático .....	48
La fertilización nitrogenada, la fecha de siembra y la longitud del ciclo como herramientas de adaptación al cambio climático del trigo en secano.....	49
Emisiones de gases de efecto invernadero del suelo en función del manejo de cubierta vegetal en un cultivo de olivar en seto .....	50
Efecto del calentamiento en las emisiones de gases de efecto invernadero en cultivo de veza con distinto manejo .....	51

Modelización espacial del secuestro de carbono en suelos bajo prácticas regenerativas en Mallorca.....	52
¿Son relevantes las emisiones de metano en cultivos extensivos de regadío del Valle del Ebro?.....	53
Proyecto DiverSoil: Impacto de la Diversificación de Cultivos en las Comunidades Biológicas del Suelo y su Potencial para Mitigar el Cambio Climático.....	54
Efecto del manejo del suelo y las rotaciones de cultivos sobre las emisiones de GEI del suelo: estudio de dos campañas en la Meseta Norte .....	55
Tolerance of <i>Miscanthus giganteus</i> and <i>Cannabis sativa</i> to saline soils. ....	56
Drought-induced changes in wheat-associated soil microbiomes in Italy and Spain .....	57
Cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero de suelos agrícolas mediante un sistema automático de incubación en laboratorio .....	58
Dinámica del Carbono del Suelo y Productividad de los Cultivos en Condiciones Mediterráneas: Un enfoque de modelización con DNDC.....	59
Emisiones de CO <sub>2</sub> y N <sub>2</sub> O y factores de emisión de N <sub>2</sub> O en suelos mediterráneos contrastados en materia orgánica.....	60
Diversification of Wheat-Based Cropping Systems with Legumes as a Strategy for Greenhouse Gas Mitigation in Coastal Mediterranean Environments.....	61
Soil Nitrogen Dynamics and Nitrogen Contribution of Legumes in Diversified Wheat-Based Systems.....	62
Potencial de acumulación de carbono orgánico del suelo en cultivos de cereal de secano con prácticas de agricultura de conservación .....	63
Efecto del manejo del rastrojo, la fertilización y los cultivos cubierta sobre las emisiones de gases del suelo en maíz para aprovechamiento energético del residuo .....	64
Regional variability of maximum phosphorus sorption capacity in soils of Paraná State, Southern Brazil .....	65
Impact of phosphate fertilization on soybean yield and profitability over three growing seasons in Parana, Brazil.....	66
<b>GANADERÍA – sesiones orales .....</b>	<b>67</b>
Evaluación de emisiones de gases de efecto invernadero y amoníaco en balsas de purín y mitigación mediante cubiertas flotantes.....	68
Efecto de diferentes regímenes de ventilación sobre la dinámica de nutrientes en camas compostadas de vacuno lechero .....	69
Relación entre las emisiones de metano entérico reales y las ecuaciones Tier2 del IPCC aplicadas al vacuno lechero .....	70
Estudio integral <i>in vitro</i> , <i>in vivo</i> y análisis de ciclo de vida para evaluar el uso de ensilado de subproducto de pepino y paja en la producción de corderos .....	71
Combinación de ajo, canela y orégano: efectos sinérgicos sobre la fermentación ruminal y la reducción del metano <i>in vitro</i> .....	72
Estudio del uso de taninos, saponinas y calostro bovino para mejorar la digestibilidad y reducir emisiones en corderos mediante el sistema RUSITEC.....	73

GANADERÍA – sesiones flash-talk.....	74
herdr: Una herramienta de código abierto para el cálculo de emisiones y uso de suelo en sistemas ganaderos .....	75
Estudio del efecto del método de conservación del subproducto de alcachofa ( <i>Cynara scolymus</i> ) en la fermentación ruminal <i>in vitro</i> . .....	76
Subproductos hortícolas: su impacto en la fermentación ruminal y la producción de metano <i>in vitro</i> .....	77
FOTOPUR. Sistema innovador para reducción de emisiones en balsas de purines con aprovechamiento fotovoltaico .....	78
La fermentación de la torta de palmiste con <i>Pleurotus ostreatus</i> mejora la degradabilidad <i>in vitro</i> de las fracciones fibrosas de forrajes tropicales y reduce la producción de metano.....	79
Sinergias entre la huella hídrica y la mitigación de emisiones en el vacuno de carne en España.....	80
Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero tras la aplicación de biochar en la cama de los animales.....	81
Estudio de la colonización microbiana del aparato digestivo de terneros por arqueas metanogénicas desde el nacimiento .....	82
Estudio de la huella de carbono y medidas de reducción en granjas de vacuno de leche de España.....	83
1750 como referencia preindustrial en la ganadería.....	84
FORESTAL – sesiones orales.....	85
Más allá del incendio: el efecto de la gestión post-incendio en las pérdidas de carbono forestal.....	86
La precipitación como factor determinante del secuestro anual de carbono en encinares bajo distinta gestión .....	87
Lecciones de la teoría de Ecosistemas Abiertos para la gestión forestal.....	88
Silvo-pastoreo como estrategia de adaptación al cambio climático en encinares mediterráneos .....	89
Tipificación de explotaciones ganaderas en dehesa en función del manejo y las características del suelo en relación con el secuestro de carbono.....	90
Efecto de la quema en pilas de residuos forestales sobre la diversidad microbiana del suelo y su recuperación temprana en la Vall d’Aran .....	91
FORESTAL – sesiones flash-talk.....	92
El manejo pastoral puede reducir las pérdidas de carbono en los pastizales semiáridos: balance de los flujos de CO <sub>2</sub> escalados a partir de mediciones discretas con cámaras portátiles.....	93
Drought Futures for Argan Landscapes: Integrating Remote Sensing, Soil Hydraulics and SSP Scenarios (Essaouira Province, Morocco).....	94
Respuesta diferencial de la emisión de CO <sub>2</sub> en tejidos leñosos en dos especies de roble con estrategias de uso de agua contrastadas.....	95

Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero tras la aplicación de biochar en el suelo de la dehesa .....	97
<b>SOCIOECONOMICO – sesiones orales.....</b>	<b>98</b>
Políticas climáticas en el contexto de la agricultura en España.....	99
PRODUCTION AND CONSUMPTION STRATEGIES TO MITIGATE THE CARBON FOOTPRINT OF THE AGRI-FOOD SECTOR IN SPAIN.....	100
Integración de los servicios ecosistémicos de la ganadería extensiva en el Análisis de Ciclo de Vida: el caso Ovihuec.dat.....	101
Percepción de actores sobre prácticas de agricultura de carbono y mercados de carbono en el <i>Living Lab</i> IBERSOILL .....	102

---

**AGRICULTURA – sesiones orales**

---

## Impacto del manejo del barbecho en las emisiones de gases de efecto invernadero del suelo en agroecosistemas semiáridos de secano

Adrián Aladrén<sup>1</sup>, Laura Martínez-García<sup>1</sup>, Vitoria Lafuente<sup>1</sup>, Ana Bielsa<sup>1</sup>, Francisco Cafaro<sup>2</sup>, César Romano<sup>1</sup>, Jorge Álvaro-Fuentes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de suelo y agua. Estación Experimental de Aula-Dei. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Mar De Plata, Argentina

\*aaladren@eead.csic.es

La agricultura tradicional en las zonas semiáridas del valle del Ebro se basa en el laboreo convencional y largos periodos de barbecho con el suelo desnudo. Por el contrario, la agricultura de conservación utiliza prácticas de laboreo mínimo o nulo integrando cultivos o vegetación espontánea como cubierta vegetal. Estos diferentes enfoques en el manejo agrícola influyen en las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) del suelo. Prácticas como la siembra directa, el aumento de materia orgánica y una mayor retención de humedad, propias de la agricultura de conservación, son clave para regular la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). El objetivo de este trabajo fue evaluar durante dos campañas (2023-2024; 2024-2025) el efecto de diferentes sistemas de cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.) basados en el uso de cultivos cubierta y no laboreo (con el fin de sustituir al barbecho tradicional) sobre las emisiones de GEI del suelo. El ensayo comenzó en 2018 con un diseño experimental aleatorizado en bloques, en el que las dos fases de la rotación están representadas simultáneamente. Los tratamientos evaluados incluyeron: i) sistema tradicional de cultivo seguido por un barbecho largo labrado (BL), ii) sistema de siembra directa seguida de una temporada de cultivo cubierta con veza (*Vicia sativa* L.) (BS) y, iii) sistema de siembra directa, seguida por una terminación con herbicida (BQ). Las muestras de GEI del suelo se recogieron utilizando el método de cámara cerrada y se midieron mediante cromatografía de gases. Los resultados mostraron que la temperatura y la humedad gravimétrica del suelo influyeron significativamente en las emisiones de GEI del suelo tanto en las fases de barbecho ( $R^2 = 0.53$  y  $0.29$  para CO<sub>2</sub>, y  $R^2 = 0.29$  y  $0.26$  para N<sub>2</sub>O, temperatura y humedad gravimétrica, respectivamente) como en las fases de cultivo ( $R^2 = 0.44$  y  $0.31$  para CO<sub>2</sub>, y  $R^2 = 0.31$  y  $0.26$  para N<sub>2</sub>O, temperatura y humedad gravimétrica, respectivamente). Las emisiones acumuladas de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O mostraron diferencias significativas disminuyendo en el siguiente orden: BS > BQ > BL (durante los periodos y fases de barbecho). No se registraron diferencias significativas en las fases de cultivo durante los periodos de cultivo. Por otro lado, se observaron mínimas diferencias en las emisiones de CH<sub>4</sub> del suelo. Los resultados sugieren que los sistemas basados en siembra directa y/o cultivos cubierta generan las mayores emisiones de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O desde el suelo durante los periodos y fases de barbecho. Además, el incremento de la temperatura y la humedad gravimétrica del suelo se asocia con emisiones más elevadas de estos GEI. Sin embargo, la siembra directa y el uso de cultivos cubierta podría tener otros efectos positivos en la salud del suelo.

Estudio financiado por la Agencia Española de Investigación (AEI) (PID2021-126343OB-C31)

## Co-compostaje con biochar para una vitivinicultura baja en carbono: optimizando el secuestro de C y el balance neto de GEI

Ana Cervera-Mata<sup>1\*</sup>, Miguel Ángel Sánchez-Monedero<sup>1</sup>, María Luz Cayuela<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Conservación de Suelos y Agua y Manejo de Residuos Orgánicos. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Campus de Espinardo (Murcia). 30100.

\*[agcervera@cebas.csic.es](mailto:agcervera@cebas.csic.es)

Bosque de Matasnos (Peñaranda de Duero, Burgos) es una bodega ecológica comprometida con la sostenibilidad, que emplea estiércol de ovino y residuos de vinificación como fertilizantes orgánicos. La optimización de su gestión mediante compostaje y co-compostaje con biochar representa una oportunidad para mejorar el reciclaje de nutrientes, aumentar el almacenamiento de carbono en el suelo y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. El objetivo de este trabajo fue evaluar los beneficios agronómicos y ambientales del compostaje y co-compostaje con biochar en viñedos ecológicos. El compostaje se desarrolló entre noviembre de 2023 y abril de 2024, utilizando una mezcla inicial compuesta por estiércol ovino con cama (83 %) y residuos de vinificación (17 %). Se establecieron dos tratamientos: compost y compost con una adición del 20 % de biochar (v/v), que posteriormente se aplicaron en campo a una dosis de 22 t/ha en la primavera de 2024. Las emisiones de N<sub>2</sub>O se cuantificaron in situ a lo largo de un período de dos años (abril de 2024 a abril de 2026), junto con la evaluación de la dinámica del C. La adición de biochar aceleró el proceso de compostaje, evidenciado por una estabilización térmica más rápida, una mejora del índice de germinación y una mayor actividad de nitrificación durante la fase mesófila. El co-compostaje con biochar incrementó el contenido de C en un 85 % y el de N en un 50 % en comparación con el compost sin biochar. Los resultados preliminares en campo indican que el compost con biochar favorece la reducción de las emisiones de N<sub>2</sub>O y el aumento de carbono recalcitrante en el suelo. En conjunto, el co-compostaje con biochar y su posterior aplicación en el viñedo constituye una estrategia eficaz para mejorar la sostenibilidad de la gestión de residuos orgánicos y avanzar hacia sistemas vitivinícolas bajos en carbono.

**Este trabajo ha sido cofinanciado por el Programa LIFE de la Unión Europea (Ref: LIFE22-CCM-ES-CLIMAWIN/101113948). Ana Cervera-Mata también agradece el apoyo de una beca Juan de la Cierva-Formación (JDC2022-048381-I), financiada por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España.**

## Understanding Soil Respiration Dynamics in Mediterranean Rainfed Olive Groves

Joaquín Cobos<sup>1\*</sup>, Eva María Pareja-Sánchez<sup>2</sup>, Roberto García-Ruiz<sup>2</sup>, Gustavo Sanchez<sup>1</sup>, Xim Cerdá<sup>1</sup>, Elena Angulo<sup>1</sup>, Ramón C. Soriguer<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Estación Biológica de Doñana (CSIC), Avenida Americo Vesputio 26, Isla de la Cartuja, 41092 Sevilla, Spain.

<sup>2</sup> University Institute of Research in Olive Grove and Olive Oil, University of Jaén, Campus Universitario de las Lagunillas s/n, 23071.

\* [joaquin.cobos@ebd.csic.es](mailto:joaquin.cobos@ebd.csic.es)

Understanding soil respiration (Rs) dynamics in Mediterranean olive groves is essential for accurately quantifying carbon fluxes and improving carbon balance assessments under climate change scenarios. Soil respiration constitutes a major pathway of carbon loss from terrestrial ecosystems, integrating CO<sub>2</sub> emissions derived from both root metabolic activity (autotrophic respiration) and microbial decomposition of soil organic matter (heterotrophic respiration). In semi-arid Mediterranean environments, these processes are strongly regulated by soil water availability, temperature, and the amount and quality of organic matter inputs, all of which exhibit pronounced seasonal variability. This study investigated the seasonal and spatial variability of soil respiration in a traditional rainfed olive orchard located in a Mediterranean climate region. The orchard was planted at a spacing of 11 m between rows and 9 m between trees, corresponding to an approximate density of 101 trees ha<sup>-1</sup>. Continuous, high-frequency measurements of soil CO<sub>2</sub> efflux were conducted using automated soil respiration chambers installed in two contrasting microsites: under the tree canopy (UC) and in the inter-row (IR) area. These zones differ markedly in terms of root density, litter accumulation, soil disturbance, and microclimatic conditions, making them representative of the spatial heterogeneity typical of olive agroecosystems. Results revealed strong seasonal patterns in Rs, closely linked to variations in soil moisture and temperature. Annual cumulative soil respiration reached 3.68 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> in the UC zone and 2.21 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> in the IR zone, indicating substantially higher CO<sub>2</sub> emissions per unit area beneath the tree canopy. This enhancement was primarily associated with greater root activity, higher organic matter inputs from litterfall, and more favorable microclimatic conditions under the canopy. However, despite lower Rs rates, the IR zone accounted for a larger proportion of the total orchard-scale CO<sub>2</sub> efflux due to its greater spatial extent. Soil water content emerged as the dominant environmental driver of soil respiration across both microsites. During dry periods, low soil moisture significantly constrained microbial and root activity, effectively moderating or suppressing the temperature sensitivity of Rs. In contrast, following rainfall events, soil respiration responded rapidly, particularly in the UC zone, highlighting the importance of moisture pulses in controlling carbon emissions in semi-arid systems. Overall, these findings underscore the critical role of microsite heterogeneity in regulating soil CO<sub>2</sub> efflux in Mediterranean olive groves and emphasize the need to incorporate spatial variability into carbon budget assessments and sustainable soil management strategies.

**This research was funded by the Operative Groups AEI in matters of agricultural productivity and sustainability for the implementation of pilot projects and the development of new products, practices, processes, and technologies in the agricultural, food, and forestry sectors, within the framework of the Andalusia Rural Development Programme 2014–2020, project “BIOLIVAR. Monitorización, optimización y valorización del capital natural en el cultivo del olivar en producción integrada en Andalucía” (reference number GOPO-SE-20-0002, project number 202099906834634), and the Andalusia Rural Development Programme 2020–2025, project “C-OLIVAR – Validation of an innovative methodology to make carbon accumulation practices in olive groves economically viable” (reference number GOPO-SE-23-0006, project number 2025999010370419)”.**

## Impacto de la PAC en el secuestro de carbono en suelos agrícolas

José Luis Gabriel<sup>1\*</sup>, Alberto Lázaro-López<sup>1</sup>, Raúl San-Juan-Heras<sup>1</sup>, José Antonio Rodríguez-Martín<sup>1</sup>, María del Mar Delgado<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Medio Ambiente y Agronomía, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA-CSIC), Madrid, España

\*[gabriel.jose@inia.csic.es](mailto:gabriel.jose@inia.csic.es)

El carbono orgánico es uno de los principales indicadores utilizados en políticas públicas para la salud de los suelos. En el marco del Plan Estratégico para el nuevo periodo de la Política Agraria Común (PAC) 2023-2027 se han establecido medidas orientadas a su incremento en los suelos agrícolas de España. También se ha establecido un seguimiento para conocer el efecto de dichas medidas mediante una evaluación sistemática. Con este fin, a petición del propio Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), se ha realizado un muestreo de cobertura estatal basado en la Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ESYRCE) y el Registro Único de Solicitud (RSU) de la PAC, y que conforma la red oficial de monitorización de suelos agrícolas en España. Esta red contó con muestras en 8.000 localizaciones de cultivos y pastos, donde se designan pares de parcelas contrastadas según su técnica de manejo, para un total de 16.000 parcelas muestreadas a dos profundidades (0-10 cm y 10 a 30 cm). El análisis de los datos obtenidos ha permitido cuantificar a nivel de cultivo, sistema de gestión del agua y de región edafo-climática el impacto real de la introducción de las prácticas financiadas por la PAC como son la siembra directa en cultivos herbáceos y/o la introducción de cubiertas vegetales vivas o inertes en cultivos leñosos (desglosando incluso por años consecutivos de acogimiento a la práctica). Además, se han identificado las regiones en las que, por un lado, la implantación de estas técnicas está más extendida o menos, así como el impacto potencial de que la técnica se implantase en la totalidad de la superficie, cuantificando el impacto potencial del incremento de la superficie afectada en el secuestro de carbono a nivel regional para facilitar la toma de decisiones a nivel político en la zona. Más allá de los datos obtenidos para esta primera campaña de 2023/24, ya se ha iniciado la toma de datos de la segunda campaña 2025/26 en las mismas 16.000 parcelas, que permitirá confirmar el efecto temporal de la aplicación de estas medidas en campo, y se está creando una edafoteca nacional, que permita organizar y conservar estas muestras de suelo para futuros análisis de parámetros físico-químicos complementarios.

**Estudio financiado por el convenio MAPA-INIA para el seguimiento y evaluación con base científica del Plan Estratégico de la Política Agrícola Común 2023-2027 de España y el proyecto RESUENA (PID2021-124041OB-C21, MCIN/AEI/10.13039/501100011033/).**

## Undersowing legume cover crops in Mediterranean rainfed cereals: a regenerative organic practice maintaining yields and soil CO<sub>2</sub> emissions, while suppressing weeds

Alessio Giampieri<sup>1, 2</sup>, Matteo Francioni<sup>1\*</sup>, Riccardo Scuppa<sup>2</sup>, Simone Tiberi<sup>2</sup>, Andrea Tosoroni<sup>2</sup>, Gianluca Brunetti<sup>1</sup>, Paola Antonia Deligios<sup>1</sup>, Paride D'Ottavio<sup>1</sup>, Elga Monaci<sup>1</sup>, Chiara Rivosecchi<sup>1,3</sup>, Luigi Ledda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali, via Brecce Bianche 10, 60131 Ancona, Italy

<sup>2</sup> Arca Srl Benefit, via Aldo Moro 18/20, 60031 Castelplanio, Italy

<sup>3</sup> Department of Civil, Constructional and Environmental Engineering, Sapienza University of Rome, via Eudossiana 18, 00184 Rome, Italy

\*[m.francioni@staff.univpm.it](mailto:m.francioni@staff.univpm.it)

Although cover crops are widely promoted as a carbon farming practice, their effectiveness depends on context-specific trade-offs between carbon balance and agronomic outcomes. Nonetheless, research addressing these interactions remains limited, particularly in Mediterranean environments, which are recognized as global hotspots of climate change. The study evaluated spring undersowing of forage legumes (sulla *Hedysarum coronarium* L. and red clover *Trifolium pratense* L.) in wheat cultivated under Mediterranean and rainfed conditions, focusing on carbon-related effects and ecosystem co-benefits. Two field trials in central Italy provided contrasting management legacies: Osimo (regenerative organic) and Agugliano (conventional tillage). Measurements included seasonal soil CO<sub>2</sub> emissions (partitioned into autotrophic and heterotrophic components), soil temperature and water content, above-ground biomass of crops and weeds, and final grain yield and protein concentration. Results showed that undersowing did not increase cumulative soil CO<sub>2</sub> emissions, indicating carbon neutrality relative to sole wheat. Co-benefits were significant: sulla achieved strong weed suppression (−78% in Osimo; −84% in Agugliano), while crimson clover provided moderate effects (−38% in Osimo). Grain yield and protein content were preserved across all treatments, confirming that legume undersowing does not reduce productivity. Late-season legume biomass and abundant nodulation indicate potential contributions to soil cover and biological nitrogen inputs. Operationally, the practice can be combined with mechanical weed harrowing, avoiding separate autumn seedbed preparation and lowering on-farm costs. This study highlights undersowing as a regenerative carbon-farming option that safeguards the soil-carbon balance while delivering measurable co-benefits beyond carbon—weed suppression, agronomic stability, and operational efficiencies—relevant for scaling in Mediterranean systems.

**This study was funded by the Programma Regionale Marche - Fondo Sociale Europeo Plus (FSE+) 2021-2027.**

## **Profundizando en los procesos responsables de las emisiones de N<sub>2</sub>O mediante N<sup>15</sup> y técnicas microbianas: resultados obtenidos por el grupo COAPA-UPM en la última década**

Guillermo Guardia<sup>1\*</sup>, Sonia García-Marco<sup>1</sup>, Sandra García-Gutiérrez<sup>1</sup>, Susana M. Iglesias-Díez<sup>1</sup>, Alba Monistrol<sup>1</sup>, Mónica Montoya<sup>1</sup>, Antonio Vallejo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ETSI Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (Departamento de Química y Tecnología de Alimentos), Centro de Estudios e Investigación para a Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales (CEIGRAM), Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, España

\*[guillermo.guardia@upm.es](mailto:guillermo.guardia@upm.es)

Además de una cuantificación robusta de los factores de emisión de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), es necesario profundizar en las fuentes emisoras y en los procesos bioquímicos predominantes en cada agrosistema, con el objetivo de determinar posibles estrategias de mitigación adaptadas a las condiciones de cada zona (como, por ejemplo, la elección de la fuente fertilizante). El grupo COAPA UPM, durante la última década, ha establecido varios ensayos de campo en cultivos herbáceos de la Comunidad de Madrid con aplicación de fuentes enriquecidas en el isótopo estable N<sup>15</sup> (tanto fertilizantes sintéticos como rastrojos). Esta herramienta ha permitido no solo calcular la recuperación del N aplicado en planta y suelo, sino también la medición de flujos de <sup>15</sup>N<sub>2</sub>O e incluso <sup>15</sup>N<sub>2</sub>. Con el uso de microparcels duplicadas con nitrato amónico marcado en el N amoniacal o nítrico, se puede discriminar el rol de cada especie nitrogenada en la eficiencia en el uso del N y en las emisiones de N<sub>2</sub>O (desnitrificación o procesos derivados de la oxidación del amonio). En el presente trabajo se describen los ensayos realizados y principales resultados obtenidos, destacando la relevancia de los procesos derivados de la oxidación del amonio (nitrificación, desnitrificación acoplada a la nitrificación y desnitrificación por nitrificantes) en las emisiones de N<sub>2</sub>O procedentes de agrosistemas de clima Mediterráneo y suelos calcáreos. En ciertas condiciones (praderas pre-alpinas, maíz irrigado con rastrojo de cultivos cubierta), se observa además predominancia de la desnitrificación en las emisiones de N<sub>2</sub>O, de forma puntual, pero con impacto relevante en los flujos acumulados. También se destaca la notable contribución del N endógeno a las emisiones de N<sub>2</sub>O, que son cuantitativamente bajas y en consonancia con los factores de emisión en zonas Mediterráneas o semi-áridas. Se discuten además las limitaciones metodológicas, las perspectivas de futuro y la información obtenida con otras técnicas, como la abundancia de genes involucrados en procesos clave de la nitrificación y desnitrificación. Se destaca, en relación a esta última metodología, tanto la obtención de información valiosa sobre las dinámicas espaciales y temporales de los flujos de N<sub>2</sub>O, como en muchos casos, las limitaciones de su uso en campo y dificultad para explicar las diferencias entre tratamientos (por ejemplo, distintas fuentes fertilizantes), y la ausencia de correlaciones con las emisiones. Estos resultados han contribuido a una mejor caracterización cuantitativa y cualitativa de las emisiones de N<sub>2</sub>O y a la definición de estrategias eficientes (por ejemplo, elección de la fuente fertilizante) para maximizar la eficiencia en el uso del N y reducir el impacto ambiental, contribuyendo por tanto a la mitigación y adaptación al cambio climático.

**Estudio financiado por la Agencia Estatal de Investigación (AEI)–Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades y Fondo Europeo de Desarrollo Regional (PID2021125007OB–I00/MCIN/AEI/10.13039/501100011033/ FEDER, 510 UE).**

## El cultivo de cobertura con veza en arrozales mejora la funcionalidad del suelo y la productividad sin aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero

Alba Llovet<sup>1</sup>, Néstor Pérez-Méndez<sup>1</sup>, Mar Catala-Forner<sup>2</sup>, Josep Borrull<sup>1</sup>, Lluís Jornet<sup>1</sup>, Lluís Matamoros<sup>1</sup>, Maite Martínez-Eixarch<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IRTA-Programa Aguas Marinas y Continentales, 43540 La Ràpita (Tarragona)

<sup>2</sup>IRTA- Cultivos Extensivos Sostenibles, 43870 Amposta (Tarragona)

alba.llovet@irta.cat

Los sistemas de arrozal presentan un alto potencial de secuestro de carbono (C) en el suelo, y la implantación de cultivos de cobertura puede contribuir a reforzarlo. Sin embargo, sus efectos sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) siguen siendo inciertos y, de hecho, el posible incremento de las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) constituye un riesgo patente que cuestiona su efecto neto de mitigación. Este estudio evaluó el efecto de distintas estrategias rotacionales (barbecho invernal seco, veza (*Vicia villosa*) y raigrás (*Lolium multiflorum*)) sobre las dinámicas de C y las emisiones de GEI en un sistema de arrozal en el Delta del Ebro. El experimento se estableció en 2021 y los resultados presentados abarcan el periodo comprendido entre febrero de 2024 y octubre de 2025. Los parámetros evaluados incluyeron mediciones semanales de emisiones de CH<sub>4</sub> y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), stocks de carbono orgánico del suelo (COS), agregación del suelo, biomasa microbiana y descomposición de la biomasa aérea y radicular de los cultivos de cobertura en etapas clave del ciclo del arroz, junto con la productividad del cultivo. Adicionalmente, los análisis en curso sobre necromasa microbiana y fraccionamiento del COS en C orgánico particulado y asociado a minerales proporcionarán información adicional sobre los procesos de estabilización del C. La identidad del cultivo de cobertura influyó claramente en las dinámicas biogeoquímicas. La veza mostró picos de emisión de CH<sub>4</sub> durante el periodo de cultivo del arroz (fase de inundación), mientras que no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos en las emisiones de N<sub>2</sub>O, aunque con una tendencia hacia valores menores bajo veza. En consecuencia, no se observaron diferencias entre tratamientos en el potencial neto de calentamiento global. Los stocks de COS fueron similares entre tratamientos en la capa superficial, aunque el raigrás presentó valores menores en la capa de 10–30 cm. El uso de cultivos de cobertura tendió a favorecer la formación de macroagregados, lo que sugiere mejoras en la estructura del suelo. El tratamiento con veza destacó además por presentar una menor descomposición de la biomasa aérea (coherente con su mayor contenido en lignina) y una tendencia hacia mayores valores de C y N microbianos. Asimismo, el rendimiento del arroz mostró un aumento marginal bajo veza. En conjunto, la veza se presenta como un cultivo de cobertura prometedor para arrozales mediterráneos, al optimizar las dinámicas de C del suelo y la productividad sin incrementar las emisiones totales de GEI.

**Este estudio fue financiado por los proyectos AgriCarboniCat y Carboni al Sòl (Generalitat de Catalunya).**

## Trade-offs Between Soil Health and Nutritional Output in Conventional and Diversified No-Till Irrigated Cropping Systems

Gonçalo Nascimento<sup>1\*</sup>, Carlos Cantero-Martínez<sup>1,2</sup>, Jesús Fernandez-Ortega<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Agrotecnio, Av. Alcalde Rovira Roure 191, 25198 Lleida, Spain

<sup>2</sup> Universitat de Lleida, Av. Alcalde Rovira Roure 191, 25198 Lleida, Spain

\*[josegoncalo.bettencourt@udl.cat](mailto:josegoncalo.bettencourt@udl.cat)

Field cropping systems are a significant source of greenhouse gas (GHG) emissions, and substantial efforts have been directed toward reducing these emissions and enhancing the capacity of agroecosystems to function as carbon sinks. Conservation practices such as no-till management and crop diversification are widely proposed as key climate change mitigation strategies. By minimizing soil disturbance, no-till systems can potentially reduce CO<sub>2</sub> emissions associated with soil respiration and limit soil organic carbon (SOC) losses. In parallel, reducing fallow periods and implementing diversified crop rotations can promote higher annual biomass production, improve carbon inputs to the soil, and enhance organic matter retention. A field experiment was conducted from 2022 to 2025 under irrigated Mediterranean conditions, comparing a conventional monocropping wheat system based on tillage and bare fallow with an alternative no-till system that combined a diversified rotation (pea–camelina–wheat) and summer crotalaria grown as cover crop and for forage. Grain yield and aboveground biomass production were quantified each season, while GHG fluxes were measured during the final two seasons of the experiment. Exported grain or forage biomass was converted into protein and energy production to enable a standardized comparison across the different crops and cropping systems. In addition, SOC content and soil aggregate stability were assessed at the end of the study to evaluate medium-term impacts on soil quality. Preliminary results indicate that the alternative diversified system under no-till outperforms the conventional wheat monocropping system mainly in digestible protein when growing crotalaria for forage. However, the conventional wheat system outperforms the winter rotation, largely due to the greater yield stability and caloric output of wheat grain. CO<sub>2</sub> emissions were higher in the alternative system, mainly driven by increased root respiration from summer crotalaria and the additional irrigation required during the warm season, which stimulated soil biological activity. Overall, these findings suggest that diversified no-till systems incorporating alternative crops can contribute effectively to protein production and soil quality improvement. However, their lower yield stability and limited energy production potential compared with wheat constrain their frequency and feasibility within typical field crop rotations under Mediterranean irrigated conditions. This trade-off highlights the need for balanced rotation designs that consider both climate mitigation goals and agronomic reliability.

## Estandarización y validación de metodologías para la monitorización de emisiones de gases de efecto invernadero

Joan Noguerol<sup>1</sup>, Laura Burgos<sup>1</sup>, Miguel Moreno<sup>1</sup>, August Bonmatí<sup>1</sup> y Míriam Cerrillo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sostenibilidad en Biosistemas, Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA), Torre Marimon, Caldes de Montbui (Barcelona), España

\*[joan.noguerol@irta.cat](mailto:joan.noguerol@irta.cat)

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) constituyen los principales gases de efecto invernadero (GEI) presentes en la atmósfera terrestre. Estos gases son relativamente transparentes a la radiación solar, pero absorben y reemiten energía en el rango del infrarrojo térmico emitido por la superficie terrestre, contribuyendo así al calentamiento global. Según datos recientes, la temperatura media superficial global se ha incrementado en 1,10 °C durante el decenio 2011-2020 respecto al periodo preindustrial (1850-1900). Paralelamente, las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O continúan incrementándose a tasas anuales cercanas al 0,4%, 0,6% y 0,25%, respectivamente. Actividades vinculadas al sector energético, la industria, el transporte y la agricultura intensiva son los principales motores de este incremento, elevando significativamente el potencial de calentamiento global (GWP) de la atmósfera. En consecuencia, la cuantificación precisa de las fuentes y sumideros de GEI, así como la monitorización continua de sus emisiones, se ha convertido en una prioridad científica esencial para comprender la dinámica del sistema climático y diseñar estrategias eficaces de mitigación del cambio climático. Existen diversas metodologías para la monitorización de GEI, que incluyen múltiples configuraciones para la toma de muestras, como campanas estáticas y dinámicas con distintas geometrías, tamaños, diseños y grados de automatización. Asimismo, se dispone de una amplia variedad de técnicas analíticas para la detección y cuantificación de GEI, entre ellas, la cromatografía de gases (GC), la espectroscopia de absorción por láser de diodo sintonizable (TDLAS), la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y la espectroscopia fotoacústica (PAS). En este trabajo se evalúa la influencia de distintos parámetros en la estimación de emisiones, tales como el tipo y la geometría de la campana, la técnica empleada para la determinación de la concentración de GEI, el flujo de emisión y el tiempo de muestreo. Para ello, se generó una emisión controlada de GEI utilizando una botella de gases patrón de concentración conocida y un caudalímetro para regular el flujo. Este enfoque permite disponer de una emisión teórica de referencia y compararla con los valores obtenidos experimentalmente. El objetivo principal de esta investigación es avanzar hacia la estandarización de los protocolos de monitorización de GEI, analizando el impacto de los distintos parámetros operativos e identificando las condiciones óptimas de medida para maximizar la representatividad y fiabilidad de los resultados de emisión en cada situación.

## **Efecto del manejo del suelo y la fertilización nitrogenada sobre la funcionalidad microbiana del carbono y su implicación en los servicios ecosistémicos del olivar**

Ana Isabel Palma Toro<sup>1\*</sup>, Joyce Solórzano<sup>1</sup>, Beatriz Gómez-Muñoz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Biotecnología y Protección Ambiental, Estación Experimental del Zaidín (EEZ), Granada, España

\*[ana.palma@eez.csic.com](mailto:ana.palma@eez.csic.com)

El sector agrícola constituye una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel global, principalmente a través de la aplicación de fertilizantes nitrogenados, la degradación del carbono orgánico del suelo y los cambios en la actividad microbiana. A estas emisiones directas se suman las emisiones indirectas asociadas a la fabricación y el transporte de los fertilizantes nitrogenados de síntesis, cuyo proceso productivo es altamente dependiente de energía fósil y cuya distribución suele implicar recorridos de larga distancia. En contraste, los fertilizantes orgánicos, generalmente de origen local o regional, pueden presentar una menor huella de carbono asociada a su ciclo de vida. En sistemas agrícolas mediterráneos, caracterizados por bajos contenidos de carbono orgánico, elevada variabilidad climática y suelos frecuentemente degradados, las prácticas de manejo juegan un papel clave en la regulación del ciclo del carbono y del nitrógeno, así como en las emisiones asociadas de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O. En el olivar, el mantenimiento de suelo desnudo combinado con fertilización mineral puede reducir la funcionalidad biológica del suelo y su capacidad para actuar como sumidero de carbono, aumentando potencialmente las emisiones de GEI. En este trabajo se comparan cuatro olivares en lo que se llevan a cabo prácticas de manejo diferentes como son: (i) cubierta vegetal con fertilización orgánica, (ii) cubierta vegetal con fertilización nitrogenada inorgánica, (iii) suelo desnudo con fertilización orgánica y (iv) suelo desnudo con fertilización nitrogenada inorgánica. Se evaluarán indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo, incluyendo el contenido de materia orgánica, la capacidad de retención de agua y la actividad enzimática (deshidrogenasa) como indicador de la actividad microbiana global. La funcionalidad metabólica de la microbiota se analizará mediante la técnica MicroResp™. Resultados preliminares indican un mayor contenido de materia orgánica y capacidad de retención de agua en los tratamientos con cubierta vegetal, lo que sugiere un mayor potencial de secuestro de carbono y mejores condiciones para la microbiota edáfica. Los análisis en curso permitirán profundizar en la relación entre manejo del suelo, funcionalidad microbiana y dinámica del carbono, aportando información clave sobre el papel de las cubiertas vegetales y el tipo de fertilización en la mitigación de emisiones de GEI en olivares mediterráneos. Este estudio contribuye al desarrollo de estrategias de manejo orientadas a mejorar la salud del suelo y reducir la huella climática de los sistemas agrícolas mediterráneos.

**Estudio financiado por parte de la subvención CNS2024-154602 financiada por MICIU/AEI /10.13039/501100011033, y la subvención RYC2022-035772-I financiada por MICIU/AEI /10.13039/501100011033 y el ESF+.**

## Desarrollo de biofertilizantes a partir de cenizas y gallinaza: Implicaciones en las emisiones de gases de efecto invernadero y amoníaco durante su compostaje

Daniel Ruiz-Sanchez<sup>1</sup>, Ernesto Santateresa<sup>2</sup>, José Antonio Sáez-Tovar<sup>3</sup>, Silvia Sánchez-Méndez<sup>3</sup>, Luciano Orden<sup>3</sup>, Malu Barrera-Traver<sup>1</sup>, F. Javier Andreu-Rodríguez<sup>3</sup>, Encarnación Martínez-Sabater<sup>3</sup>, Carlos Esteban<sup>1</sup>, Enrique Agulló<sup>3</sup>, Raul Moral<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Grupo Valora, C/ Pantano, 2 – Pol. Ind. Las Salinas C.P.: 11500 - Puerto de Santa María (España)

<sup>2</sup> FACSA, Avda. Castell Vell 35, 12004 Castellón (España)

<sup>3</sup> Grupo GIAAMA, CIAGRO (EPSO-UMH) Crta. Beniel km 3,2 03312, Orihuela. \* [raul.moral@umh.es](mailto:raul.moral@umh.es)

El compostaje de residuos ganaderos y agroindustriales es una estrategia clave para su valorización, contribuyendo a la economía circular y a la mejora de la fertilidad del suelo, destacando la inclusión de nuevos materiales anteriormente considerados como residuales pero que son una nueva fuente de nutrientes recuperados, como las cenizas de combustión. Sin embargo, durante el compostaje pueden producirse emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), asociadas a la actividad microbiana y a las condiciones físico-químicas del sistema. La optimización de las mezclas de residuos orgánicos y las condiciones operativas resulta fundamental para mejorar la eficiencia del proceso y minimizar su impacto ambiental. El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de la relación de mezcla de ingredientes y del tipo de material usado para el riego sobre la dinámica del compostaje y las emisiones de GEI y  $\text{NH}_3$ . Se diseñaron 4 pilas de compostaje elaboradas con gallinaza, restos de poda de arbolado urbano y cenizas procedentes de la combustión de biomasa. Se emplearon 2 relaciones volumétricas de mezcla de gallina:poda:cenizas (2:1:1 y 2:1:2; v/v) y dos tipos de riego: agua y sangre. El proceso fue monitoreado durante 60 días. Las emisiones de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{NH}_3$  se determinaron en cinco momentos del proceso (0, 15, 30, 45 y 60 días) mediante una metodología de cámara cerrada acoplada a un analizador multigás (One, Gasera® Ltd.). Los flujos gaseosos se calcularon transformando las concentraciones puntuales medidas en emisiones expresadas como kg de  $\text{N-N}_2\text{O}$ ,  $\text{N-NH}_3$ ,  $\text{C-CH}_4$  y  $\text{C-CO}_2$  por tonelada de compost. Con estos datos se estimaron las emisiones acumuladas de GEI y el potencial de calentamiento global (GWP) de cada tratamiento. Los resultados mostraron que la relación de mezcla y el tipo de riego influyeron en la evolución del proceso biooxidativo y en la dinámica de emisiones. Las pilas con mayor proporción de cenizas (2:1:2) presentaron una mayor exotermia y una fase termófila más intensa y prolongada, asociada a emisiones más elevadas de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  durante las fases iniciales (0-15 días). El riego de las pilas con sangre incrementó las pérdidas de  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{NH}_3$  en las etapas intermedias del compostaje (30-45 días), en comparación con las pilas regadas con agua. Se observaron diferencias significativas entre las cuatro pilas de compostaje en las emisiones acumuladas de todos los gases evaluados ( $p < 0,01$ ). Las mayores emisiones acumuladas de  $\text{CH}_4$  se registraron en las pilas 2:1:2 (0,14 kg  $\text{CH}_4\text{-C ton}^{-1}$ ), frente a las 2:1:1 (0,09 kg  $\text{CH}_4\text{-C ton}^{-1}$ ). En relación al tipo de riego, las emisiones de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  y  $\text{N}_2\text{O}$  fueron superiores en las pilas regadas con sangre. El análisis del GWP (kg  $\text{CO}_2\text{eq}$ ) evidenció diferencias significativas entre los sistemas, siendo menores en las pilas con mezcla 2:1:1. Los compost finales presentaron contenidos adecuados de materia orgánica y nutrientes (N-P-K) compatibles con su uso agrícola.

## **Integración de la agricultura de conservación y los principios 4R de gestión de nutrientes para una agricultura mediterránea baja en carbono y resiliente al cambio climático**

Jesús Sevillano-Caño<sup>1\*</sup>, Alfonso Moreno-Moraga<sup>2</sup>, Miguel Ángel Repullo-Ruibérriz de Torres<sup>2</sup>, Andrés Peñuela<sup>1</sup>, Tom Vanwalleghem<sup>1</sup>, Emilio Jesús González-Sánchez<sup>2</sup> and Antonio Rafael-Sánchez-Rodríguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de agronomía, Universidad de Córdoba, Córdoba, España.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Rural, Universidad de Córdoba, Córdoba, España

\*o42secaj@uco.es

La agricultura de conservación (AC) y la gestión de nutrientes basada en los principios 4R (uso, dosis, momento y localización del fertilizante adecuados) representan enfoques complementarios para afrontar el cambio climático y avanzar hacia sistemas agrícolas productivos, resilientes y con menor huella de carbono. La AC promueve la cobertura permanente y mínimo laboreo del suelo, así como la diversificación de cultivos, prácticas que contribuyen a incrementar el contenido de materia orgánica (MO) del suelo, mejorar la retención y movimiento de agua y la biodiversidad, y disminuyen la erosión y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Por su parte, los principios 4R permiten aumentar la eficiencia en el uso de nutrientes y reducir las pérdidas de nitrógeno (N) y fósforo (P). No obstante, la evidencia procedente de explotaciones agrícolas reales sigue siendo limitada, especialmente en regiones mediterráneas, donde la presencia de carbonatos condiciona la disponibilidad de nutrientes y los niveles de MO suelen ser bajos. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivos: i) evaluar si la aplicación localizada y a dosis variable de fertilizantes fosfatados en el momento de la siembra, combinada con aplicaciones de N ajustadas al cultivo o en el tiempo, mejora la eficiencia en el uso de nutrientes y reduce las emisiones de GEI; ii) analizar el papel de las leguminosas y de los cultivos de cobertura en el incremento de la MO, la fijación biológica de N y la mejora del balance hídrico en sistemas mediterráneos de secano; y iii) cuantificar el impacto de la AC sobre el secuestro de carbono (C), la reducción de emisiones de GEI y consumo de combustible en comparación con el laboreo convencional. Para ello, se han establecido cuatro ensayos de campo en explotaciones comerciales bajo AC: dos en sistemas de cultivos anuales (cereales, girasol y leguminosas en rotación) y dos en cultivos leñosos perennes (olivar y cítricos). En cada parcela se aplica un diseño en bloques completos al azar con cuatro tratamientos: i) laboreo y fertilización convencionales; ii) AC con fertilización convencional; iii) AC con fertilización optimizada 4R; y iv) AC con cubiertas vegetales o cubiertas espontáneas gestionadas de forma estratégica. En los cultivos anuales, el énfasis se sitúa en la siembra directa y la aplicación P, mientras que en olivar y cítricos las cubiertas vegetales se emplean para mejorar la MO, el ciclado de nutrientes y la fijación biológica de N. En este marco integrado, se monitorizan de forma periódica las emisiones de GEI (CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O) junto con diversos indicadores de salud del suelo, como la actividad enzimática y el secuestro de C. Los resultados permitirán generar información sólida y transferible que respalde la transición hacia una agricultura baja en carbono y eficiente en recursos.

**Agradecemos la financiación del proyecto «Mejora de la sostenibilidad agrícola mediante la combinación de la Agricultura de Conservación y la gestión de nutrientes 4R Plus en explotaciones agrícolas españolas», financiado por la Universidad Mohammed VI de Marruecos, que ha sido fundamental para el desarrollo y la ejecución de esta investigación.**

---

**AGRICULTURA – sesiones flash-talk I**

---

## **Influencia de la fertilización de una pradera con purines de vacuno y porcino en la fertilidad del suelo y acumulación de materia orgánica y carbono a diferentes profundidades**

M<sup>a</sup> Dolores Báez<sup>1\*</sup>, M<sup>a</sup> Isabel García<sup>1</sup>, J. Castro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> AGACAL-Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM). Apartado 10, 15080. A Coruña.  
*\*dolores.baez.bernal@xunta.gal*

Las praderas son cultivos forrajeros que constituyen una parte esencial de los sistemas agrícolas y ganaderos de Galicia y la fertilización con purines una práctica tradicional. Los purines son una fuente de materia orgánica y nutrientes que es necesario reutilizar de forma eficiente, minimizando el impacto de su aplicación en la atmósfera (volatilización de amoníaco, emisiones de óxido nítrico, etc), y en la fertilidad del suelo. El objetivo del trabajo es obtener un mayor conocimiento sobre la evolución a largo plazo de los contenidos de materia orgánica (MO), carbono total (C) y otros parámetros de fertilidad tras la fertilización continuada con purines comparando con una fertilización mineral. El experimento se inició en otoño del 2004 con la siembra de una pradera y permanece hasta la fecha en el CIAM. El diseño experimental es de bloques al azar y tres repeticiones con seis tratamientos de fertilización resultado de la combinación de dos tipos de purín y dos métodos de aplicación: purín de vacuno aplicado superficialmente en bandas, vacuno inyectado en la capa superficial del suelo, purín de porcino aplicado en bandas, purín de porcino inyectado, y además, a efectos comparativos, se incluye un tratamiento mineral de nitrato amónico cálcico 27% (NAC) y un control sin aporte de fertilizante nitrogenado. Entre los años 2005 y 2025 los fertilizantes se aplicaron en primavera y/u otoño tratando de igualar la dosis de nitrógeno (N) en cada aplicación. Se recogieron muestras de suelo a diferentes profundidades al comienzo del experimento y en varias ocasiones a lo largo de los años. En el trabajo se analiza la evolución de la materia orgánica (MO), carbono total (C total), nitrógeno total (N), así como otros parámetros de fertilidad del suelo como pH, elementos asimilables (P y K), acidez de cambio y capacidad de cambio efectiva (CCE). Desde los muestreos iniciales del suelo (2005), hasta los más recientes (2024 y 2025) se observan importantes cambios en la composición química de la capa superficial (0-10 cm) del suelo. Con los dos tipos de purín se producen incrementos en las bases del complejo de cambio respecto a la fertilización con NAC y control. Además, se observa un aumento de los contenidos de MO y C total, no sólo en la capa de 0-10 cm sino en las capas más profundas, de 30-60 y 60-90 cm, especialmente con el purín de vacuno (bandas e inyección) y el de porcino aplicado en bandas.

**Estudio financiado por el INIA (INIA RTA04-156, INIA RTA2015-00058-C06-01) y Plan de Transferencia para Apoyo a las Actividades de Demostración de la Xunta de Galicia, cofinanciadas por el Feader, el Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación y la Comunidad Autónoma de Galicia (Periodo 2009-2022 y CD 2024-22).**

## Secuestro de carbono en el suelo mediante la aplicación de prácticas de agricultura regenerativa a escala de parcela en cultivos extensivos de secano.

Francesc Domingo<sup>1\*</sup>, Pau Solé<sup>1</sup>, Gerard Masferrer<sup>1</sup>, Alina Font<sup>1</sup>, Ivet Caballé<sup>1</sup>, Maria Rossell<sup>1</sup>, Guillem de Lorenzo<sup>1</sup>, Elena González<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut de Recerca i Tecnologies Agroalimentàries (IRTA), Mas Badia, La Tallada d'Empordà, Girona, Catalunya

\*francesc.domingo@irta.cat

La agricultura regenerativa recoge un conjunto de prácticas agrícolas cuyo objetivo es mejorar la calidad del suelo, regenerándolo. Éstas, aplicadas a largo plazo, permiten incrementar el contenido en materia orgánica del suelo mejorando su estructura, capacidad de retención de agua y fertilidad, entre otros. Muchos de los resultados sobre los efectos de las prácticas de agricultura regenerativa se basan en pruebas realizadas en micro-parcelas y hay pocos casos que estudien la implementación de estas prácticas a escala de parcela comercial. Este trabajo presenta la variación del *stock* de carbono en el suelo cuando se implementan medidas regenerativas de gestión del suelo durante tres años en dos parcelas comerciales de producción de cultivos extensivos de invierno en secano. Cada parcela se dividió en cuatro zonas de dimensiones similares donde se han implantado manejos distintos en cada una: 1) manejo regenerativo con pastoreo, donde no se trabaja el suelo y se realiza siembra directa, se usa estiércol o compost como fertilizante, se incluye un cultivo de leguminosa cada tres años (cereal-leguminosa-colza), la vegetación espontánea de verano se siega justo antes de la siembra y sirve de acolchado y las adventicias se controlan mediante pastoreo con ganado ovino en momentos puntuales; 2) manejo regenerativo, donde se realiza el mismo manejo que en el anterior tratamiento excepto el pastoreo y que las adventicias se controlan mediante el uso puntual de herbicidas; 3) laboreo reducido, en que igual que en los anteriores se usa la misma rotación y se aplican estiércol o compost como fertilizantes, pero el suelo se trabaja una vez al año antes de la siembra para ayudar en el control de las adventicias; y 4) manejo convencional, en el que se trabaja el suelo en tres momentos (enterrar la paja, falsa siembra para controlar las adventicias y antes de sembrar), se fertiliza con purín de cerdo y la rotación no incluye cultivos de leguminosas (cereal-cereal-colza). Tres años después del inicio de la implementación de estas prácticas, se muestreó el suelo (0-0,2 m) en cada tratamiento (zona) de cada parcela y se ha determinado el contenido en carbono orgánico y la densidad aparente del suelo para calcular los cambios en *stock* de carbono. El mayor *stock* de carbono, en ambas parcelas, se ha medido en el manejo regenerativo con pastoreo, con un incremento (respecto los valores medidos antes del inicio de las prácticas) de 8,5 Mg C ha<sup>-1</sup> de media. Cuando se usó herbicida en la gestión de las adventicias el *stock* de carbono ha sido menor, aunque los valores son muy similares (8,1 Mg C ha<sup>-1</sup> de media). Con laboreo reducido el *stock* es de 6,4 Mg C ha<sup>-1</sup>, mientras que en el manejo convencional no se han visto cambios respecto los valores iniciales en cada parcela.

Estudio financiado por el Fons Climàtic de la Generalitat de Catalunya mediante los proyectos AgriRegenCat y AgriCarboniCat.

## Secuestro de carbono en el suelo mediante la aplicación de prácticas de agricultura regenerativa a escala de parcela en cultivos extensivos de regadío.

Francesc Domingo<sup>1\*</sup>, Pau Solé<sup>1</sup>, Gerard Masferrer<sup>1</sup>, Alina Font<sup>1</sup>, Ivet Caballé<sup>1</sup>, Maria Rossell<sup>1</sup>, Guillem de Lorenzo<sup>1</sup>, Elena González<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut de Recerca i Tecnologies Agroalimentàries (IRTA), Mas Badia, La Tallada d'Empordà, Girona, Catalunya

\*[francesc.domingo@irta.cat](mailto:francesc.domingo@irta.cat)

La agricultura regenerativa comprende un conjunto de prácticas agrícolas cuyo objetivo es mejorar la calidad del suelo, regenerándolo. Estas prácticas aplicadas durante periodos prolongados permiten incrementar la materia orgánica del suelo mejorando la fertilidad, estructura y capacidad de retención de agua, entre otros. La mayoría de los estudios sobre las prácticas de agricultura regenerativa en cultivos extensivos de regadío se basan en pruebas realizadas a escala de microparcela y se dispone de pocos casos que estudien la implementación de estas prácticas a escala de parcela comercial. En este trabajo se ha estudiado el comportamiento del carbono del suelo ante la implementación de medidas regenerativas durante tres años, en una parcela comercial de producción de cultivos extensivos de regadío bajo un régimen de doble cultivo anual. Esta ha sido dividida en 3 zonas de dimensiones similares donde se han implantado manejos distintos: En dos zonas se implantó un manejo regenerativo en el que el suelo no se trabaja y se realiza siembra directa, se aplica compost o estiércol como fertilizante, se incluyen leguminosas en la rotación (cereal de invierno-girasol-leguminosa-maíz), el suelo siempre está cubierto y los restos del cultivo anterior se usan como acolchado del siguiente. Pero las adventicias se han gestionado de forma distinta en cada zona. En una se ha usado herbicida para su control y en la otra se han controlado mediante pastoreo con ganado ovino al inicio de la campaña de invierno. En la tercera zona, se implantó un tratamiento convencional en el que se trabaja el suelo tres veces al año (enterrado de la paja, falsa siembra para control complementario de adventicias y antes de la siembra), se fertiliza con purín de cerdo, la rotación no incluye leguminosas (cereal de invierno-girasol-cereal de invierno-maíz) y las adventicias se controlan con herbicida. Después de tres años del inicio de la implementación de estas prácticas, se ha muestreado el suelo (0-0,2 m) de cada zona y se ha determinado el contenido en carbono orgánico y la densidad aparente del suelo, para calcular los cambios en *stock* de carbono. El manejo con un mayor secuestro de carbono ha sido el regenerativo con pastoreo, sin herbicidas, con un cambio respecto los valores iniciales de 9 Mg C ha<sup>-1</sup>. Al usar herbicidas para la gestión de las adventicias en el manejo regenerativo, el carbono secuestrado es bastante menor, alcanzando solamente un incremento de 2 Mg C ha<sup>-1</sup>, mientras que en el manejo convencional no se han observado cambios significativos respecto los valores iniciales de la parcela. Los resultados muestran que la gestión de las plantas adventicias es un factor muy importante en el secuestro de carbono, igual como lo son la reducción del laboreo o el uso de fertilizantes orgánicos sólidos.

**Estudio financiado por el Fons Climàtic de la Generalitat de Catalunya mediante los proyectos AgriRegenCat y AgriCarboniCat.**

## **Intensificación sostenible mediante rotaciones y cultivos estivales: efectos sobre la eficiencia productiva y las emisiones de N<sub>2</sub>O**

Jesús Fernández-Ortega<sup>1\*</sup>, Carlos Cantero-Martínez<sup>1</sup>, Gonçalo Bettencourt<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencia e Ingeniería Forestal y Agrícola, Universidad de Lleida, Agrotecnio Center, Av. Rovira Roure 191, 25198 Lleida.

\*[jesus.fernandez@udl.cat](mailto:jesus.fernandez@udl.cat)

La agricultura actual se enfrenta a elevada variabilidad de rendimientos y aumento de costes, mientras que las políticas agrarias restringen progresivamente el uso de agroquímicos. En este contexto, la diversificación mediante rotaciones de cultivo y la sustitución del barbecho por cultivos estivales se plantean como estrategias de intensificación sostenible, aunque pueden incrementar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), especialmente óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). El objetivo de este estudio fue evaluar de forma independiente y combinada el efecto del sistema de cultivo y del manejo estival de un cultivo que actúa como cubierta vegetal sobre las emisiones de N<sub>2</sub>O y la eficiencia productiva. Se estableció un experimento de tres años que comparó un monocultivo de trigo con una rotación de cultivos de invierno (trigo–guisante–camelina), combinados con barbecho o con un cultivo forrajero de verano (crotalaria). Las emisiones de N<sub>2</sub>O se midieron durante dos años mediante cámaras estáticas y cromatografía de gases, expresadas tanto de forma absoluta como escaladas por unidad de proteína y de energía producidas. Los resultados mostraron que la rotación de cultivos alteró la temporalidad de los picos de emisión de N<sub>2</sub>O frente al monocultivo, sin incrementar las emisiones acumuladas. Además, mejoró significativamente la eficiencia ambiental del sistema, con menores emisiones escaladas por unidad de proteína ( $\approx 225$  frente a  $360 \text{ g CO}_2 \text{ eq kg}^{-1}$ ) y de energía ( $\approx 8$  frente a  $11 \text{ g CO}_2 \text{ eq kcal}^{-1}$ ). En cuanto al manejo estival, durante el primer año, el cultivo de crotalaria bajo riego ajustado aumentó la producción de biomasa sin elevar las emisiones acumuladas de N<sub>2</sub>O, reduciendo las emisiones escaladas respecto al barbecho. En contraste, un riego excesivo en el segundo año provocó un incremento desproporcionado de las emisiones, de modo que, a pesar de la mayor biomasa, la eficiencia ambiental se redujo. En este caso, las emisiones escaladas por unidad de proteína fueron mayores en el cultivo de cobertura ( $\approx 380 \text{ g CO}_2 \text{ eq kg}^{-1}$ ) que en el barbecho ( $\approx 180 \text{ g CO}_2 \text{ eq kg}^{-1}$ ), patrón similar para la energía producida. En conjunto, los resultados indican que rotación de cultivos y manejo del periodo estival afectan de manera diferenciada las emisiones de N<sub>2</sub>O y la eficiencia ambiental. La rotación mejora consistentemente la eficiencia productiva sin aumentar las emisiones acumuladas, mientras que el efecto del cultivo forrajero estival depende críticamente del ajuste del riego, ya que un exceso de agua puede generar incrementos de emisiones que superan los beneficios productivos.

**Esta investigación ha sido financiada mediante el proyecto SINTMED del Plan Nacional de Investigación (Agencia Estatal de Investigación) (ref. PID2021-126343OB-C33).**

## **Estruvita y compost de lodo de depuradora: Alternativas a la fertilización mineral de fósforo en la rotación trigo-colza bajo siembra directa y laboreo convencional**

José Javier Guerrero-Criado<sup>1\*</sup>, Manuel Jorge Pérez-Ortega<sup>1</sup>, Manuela Ruiz-Balsera<sup>1</sup>, María Carmen del Campillo<sup>1</sup>, Antonio Rafael Sánchez-Rodríguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Agronomía, ETSIAM, Universidad de Córdoba, 14071  
\*g62gucrj@uco.es

La agricultura actual enfrenta el agotamiento de la roca fosfórica, recurso no renovable del que se extrae el 90% de los fertilizantes minerales de fósforo (P). Esta situación obliga a buscar en la economía circular y la agricultura de conservación, alternativas que preserven nutrientes críticos como el P y aporten materia orgánica al sistema suelo-planta. En suelos calcáreos, donde P, hierro y zinc son limitantes, estas prácticas pueden mejorar la resiliencia de las rotaciones cereal-oleaginosa y la funcionalidad de los suelos sobre los que se cultivan. El objetivo de este estudio fue evaluar el potencial de la estruvita y del compost de lodo de depuradora como fertilizantes de origen orgánico para suministrar P en diferentes suelos, bajo distintos manejos, analizando su efecto sobre la producción de trigo y colza y su eficiencia en el uso del fósforo (EUP). Para ello, se cultivó una rotación trigo-colza bajo condiciones controladas, compuesta por 64 macetas con 2,5 kg de suelo, resultantes de utilizar dos suelos, un Inceptisol y un Alfisol, dos manejos de suelo (laboreo convencional y siembra directa desde hace 14 años), cuatro tratamientos de P (estruvita, compost de lodo de depuradora, fosfato diamónico y un control negativo sin P), y 4 repeticiones por combinación. Tras preparar el suelo, se aplicaron los tratamientos de P de forma localizada (50 mg P kg<sup>-1</sup>), creciendo en cada maceta 8 plantas de trigo, y tras su cosecha, una planta de colza. Al finalizar el ensayo, se analizaron las propiedades químicas y biológicas del suelo, así como la producción, nutrición y EUP de ambos cultivos. Los resultados muestran como la producción de trigo fue superior en el Inceptisol, con menor P disponible inicial. Además, en este suelo, todos los tratamientos de P incrementaron la biomasa de trigo respecto al control. En contraste, en el Alfisol no se detectaron efectos del tratamiento sobre la producción, aunque sí se registraron mayores producciones bajo siembra directa. Esta respuesta diferencial en cada suelo se observó también en colza. No obstante, la colza reportó una menor producción en el Inceptisol, debido a la menor disponibilidad de P residual. Respecto a la EUP, fue positiva para todos los tratamientos y suelos, siendo mayor en el Inceptisol, donde destacó DAP sobre los fertilizantes de origen orgánico. Sin embargo, en el Alfisol, la estruvita presentó valores comparables al DAP, incluso superiores bajo laboreo convencional. No obstante, tanto estruvita como DAP alcanzaron mayores EUP bajo siembra directa en ambos suelos. A pesar de obtener una EUP algo inferior con el compost, ambos fertilizantes de origen orgánico registraron rendimientos y absorciones de P por ambos cultivos superiores al control negativo, más evidente en el Inceptisol de naturaleza calcárea.

**Trabajo financiado por (i) Ayudas para la Formación de Profesorado Universitario del Ministerio de Universidades (Ref: FPU21/03384); (ii) PID2023-149247OB-C22 ('SoPhos') financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y, por "ERDF/EU", Unión Europea.**

## Assessing ammonia emissions from pig slurry application across contrasting climatic conditions

Sabrina Kassouar<sup>1\*</sup>, Luis Lassaletta<sup>1</sup>, Johanna Pedersen<sup>2</sup>, Jesper Kamp<sup>2</sup>, Vasiliki Barou<sup>1</sup>, Antonio Vallejo<sup>1</sup>, Dolores Quílez<sup>3</sup>, Eva Herrero<sup>3</sup>, Adelaida Perea<sup>3</sup>, Alberto Sanz-Cobena<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CEIGRAM-ETSIAAB, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spain.

<sup>2</sup> Department of Biological and Chemical Engineering, Aarhus University, Aarhus, Denmark.

<sup>3</sup> Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Zaragoza, Spain.

\* [s.kassouar@upm.es](mailto:s.kassouar@upm.es)

The reconnection between livestock and crop production by using animal manure as fertilizer is essential for promoting sustainable agriculture, promoting circular economy and reducing reliance on synthetic fertilizers. However, slurry application involves a high risk of ammonia volatilization, which has severe impacts on human health, climate change as indirect source of N<sub>2</sub>O, and natural ecosystems. AGROSCENA-NEXT is a Spanish research project sustained on international collaboration that aims to evaluate and improve organic fertilization practices by implementing advanced measurement methods under contrasting climatic conditions. To assess the importance of measurement techniques and environmental conditions in determining ammonia emission factors, four field intercomparison campaigns will be conducted during winter and summer in Spain and Denmark, at the CITA facilities in Zaragoza (Spain) and at the Foulum campus of Aarhus University (Denmark). Ammonia emissions following pig slurry application will be measured using four methods: the semi-open chamber (SOC), the integrated horizontal flux (IHF), an inverse dispersion modelling approach based on PICARRO on-site concentration measurements, and dynamic chambers developed by Aarhus University. Slurry will be applied using two techniques, surface application and an abatement one (e.g. trailing hose and injection), allowing a robust comparison of emission dynamics across seasons, application methods, and climatic conditions. The first field experiment was conducted in November in Denmark, with ammonia emissions measured from 5 to 11 November 2025. The results of the first intercomparison campaign will be presented and discussed. A second field campaign is planned in Spain and will coincide with the REMEDIA workshop.

**Acknowledgements:** AGROSCENA-NEXT PID2023-152562OB-I00 (funded by MCIU/AEI/10.13039/501100011033 and FEDER, EU).

## **Aproximación al ahorro de emisiones en el cultivo de maíz usando como estrategias de mitigación el uso de fertilizantes producidos con H<sub>2</sub> verde y con inhibidores**

Carmen Lago<sup>1\*</sup>, Yolanda Lechón<sup>1</sup>, Israel Herrera<sup>1</sup>

*\*carmen.lago@ciemat.es*

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a la fertilización nitrogenada representan más del 2.1% de las emisiones globales. Estas emisiones se originan principalmente en dos etapas del ciclo de vida: por un lado, en la fabricación de fertilizantes nitrogenados basados en gas natural, donde se generan emisiones de CO<sub>2</sub> durante la producción de amoníaco y de N<sub>2</sub>O en la etapa de producción de ácido nítrico; y, por otro, en las emisiones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) liberadas desde el suelo tras la aplicación de los fertilizantes, como consecuencia de los procesos microbiológicos de nitrificación y desnitrificación. Las estrategias de mitigación se centran en dos vías: la sustitución del hidrógeno fósil por hidrógeno verde en el proceso Haber-Bosch y el uso de fertilizantes con inhibidores de la nitrificación. Según los estudios existentes, el empleo de H<sub>2</sub> verde podría reducir entre un 80% y un 95% las emisiones asociadas a la fabricación, mientras que los inhibidores pueden disminuir las emisiones de N<sub>2</sub>O en campo entre un 22% y un 73%, según estudios y condiciones de aplicación. En este trabajo se han estimado las emisiones de GEI del cultivo de maíz en las regiones NUTS2 de España, conforme a la metodología de la Directiva (UE) 2018/2001. En el escenario convencional, las principales contribuciones al cambio climático provienen del consumo de combustible en labores agrícolas, la producción y aplicación de agroquímicos y las emisiones de N<sub>2</sub>O del suelo, especialmente elevadas en regadío y zonas húmedas. Otras etapas, como la producción de semilla, transporte, almacenamiento o secado, presentan una contribución menor. Bajo una hipótesis inicial de reducción del 85% en la fabricación mediante H<sub>2</sub> verde y del 50% en las emisiones de N<sub>2</sub>O en campo con inhibidores, los resultados muestran que en secano la huella de carbono del maíz se reduce en promedio un 14% con cada medida por separado y un 27% al combinarlas. En regadío, las reducciones alcanzan aproximadamente el 27% con H<sub>2</sub> verde, el 15% con inhibidores y hasta el 42% con la combinación de ambas estrategias. Las diferencias regionales responden al peso relativo de la fertilización mineral en cada sistema productivo. En conjunto, la descarbonización de la fabricación y la mitigación de emisiones en campo se perfilan como estrategias complementarias y eficaces para reducir significativamente la huella de carbono del cultivo de maíz, especialmente en sistemas de regadío donde las emisiones de N<sub>2</sub>O son más relevantes

**El estudio del cálculo de los valores típicos de emisiones de GEI del cultivo de maíz ha sido financiado por el MITERD/ DG de Política Energética y Minas, con la colaboración del IDAE y la Universidad Politécnica de Madrid (Departamento de Agroecología) para la Comisión Europea.**

## **Análisis de la huella de carbono del trigo blando en el País Vasco bajo diferentes escenarios de fertilización, rotación y sistema de producción**

Martxel Makatzaga<sup>1</sup>, Patricia Gallejones<sup>1</sup>, Óscar del Hierro<sup>1</sup>, Ander Castellón<sup>2</sup>, Ana Aizpurua<sup>2</sup>, Haritz Arriaga<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> NEIKER, Departamento de Conservación de Recursos Naturales, 48160, Derio, Bizkaia

<sup>2</sup> NEIKER, Departamento de Producción y Protección Vegetal, 48160, Derio, Bizkaia

\*harriaga@neiker.eus

El trigo blando es el principal cultivo extensivo del País Vasco, con aproximadamente 19.700 ha sembradas anualmente. La rotación habitual es trigo-cebada-avena/trigo en sistema convencional. La inclusión de leguminosas y abonos orgánicos en estas rotaciones, descrita como una estrategia para reducir su impacto ambiental, es poco frecuente en la región. El objetivo fue analizar el efecto de la inclusión del cultivo de garbanzo (*Cicer arietinum* L, var. Eulalia), y la utilización de abono orgánico (estiércol de ovino) en la fertilización del trigo (*Triticum aestivum* L, var. Tocayo), en la huella de carbono (HC) de una rotación de 3 años. Además, se estudió la HC de la rotación trigo blando-garbanzo en sistema ecológico. Se analizaron 5 escenarios: (i) trigo-cebada-trigo, fertilizados con NAC 27 (referencia); (ii) trigo-cebada-trigo, trigos abonados con estiércol; (iii) trigo-garbanzo-trigo, trigos fertilizados con NAC 27; (iv) trigo-garbanzo-trigo, trigos abonados con estiércol; y (v) trigo-garbanzo-trigo ecológico, aplicando estiércol en trigo. El garbanzo no se abonó. El inventario de ciclo de vida (ICV) se completó con datos recogidos en 2023 (trigo), 2024 (garbanzo) y 2025 (trigo) en parcelas elementales de un ensayo desarrollado en NEIKER (Arkaute, Araba). Para la cebada, se empleó el ICV publicado por del Hierro et al. (2021). La HC se calculó con SimaPro 10, utilizando el método IPCC 2021 (GWP<sub>100</sub>). La unidad funcional fue kg CO<sub>2</sub>eq/ha. La HC acumulada del sistema de referencia fue 6.201 kg CO<sub>2</sub>eq/ha, donde los cultivos de trigo promediaron 1.735 kg CO<sub>2</sub>eq/ha, y el cultivo de cebada 2.731 kg CO<sub>2</sub>eq/ha. La diferencia entre ambos cultivos se explicó principalmente por las emisiones de N<sub>2</sub>O asociadas, fuertemente condicionadas por la variabilidad ambiental (años secos en 2023 y 2025, húmedo en 2024). La sustitución del fertilizante mineral por estiércol de ovino durante dos años en el trigo redujo la HC un 19% (5.051 kg CO<sub>2</sub>eq/ha). La inclusión del cultivo de garbanzo (688 kg CO<sub>2</sub>eq/ha) disminuyó un 33% el impacto (4.158 kg CO<sub>2</sub>eq/ha). La asociación de abonado orgánico en trigo, y la inclusión de garbanzo en la rotación, redujo la HC un 51% (3.008 kg CO<sub>2</sub>eq/ha) con respecto al sistema de referencia. Finalmente, en ecológico, la HC de la rotación de trigo (≈ 1.000 kg CO<sub>2</sub>eq/ha) con garbanzo (447 kg CO<sub>2</sub>eq/ha) presentó la menor HC (2.483 kg CO<sub>2</sub>eq/ha), un 60% inferior al sistema de referencia. Se concluye que la inclusión de leguminosas y/o abonos orgánicos en las rotaciones de trigo blando convencional del País Vasco, así como la transición al modelo ecológico, pueden suponer una significativa reducción de la HC por unidad de superficie. No obstante, la magnitud de la HC de las rotaciones, así como su potencial de reducción, dependen en gran medida de las condiciones ambientales, las cuales influyen significativamente en las emisiones de N<sub>2</sub>O.

**Estudio financiado por el proyecto GRAIN SYST “Sistemas cerealistas mediterráneos para unos suelos más sanos y una mayor sostenibilidad” (PID2021-127339OR-C43) de la convocatoria Proyectos de Generación de Conocimiento del Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación 2021-2023 del Ministerio de Ciencia e Innovación.**

## Efecto de la fertilización orgánica en el secuestro de carbono y emisiones GEI en arrozales

Maite Martínez-Eixarch<sup>1</sup>, Alba Llovet<sup>1</sup>, Lluís Jorner<sup>1</sup>, Lluís Matamoros<sup>1</sup>, Núria Tomàs<sup>2</sup>, Mar Català-Forner<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Programa Aguas Marinas y Continentales, IRTA, la Ràpita

<sup>2</sup> Programa Cultivos Extensivos Sostenibles, IRTA, Amposta

\*[maite.martinezeixarch@irta.cat](mailto:maite.martinezeixarch@irta.cat)

El uso de fertilizantes orgánicos se promueve como una estrategia para mejorar la fertilidad del suelo y mitigar el cambio climático mediante el aumento del secuestro de carbono (C) en el suelo. Sin embargo, su aplicación también puede incrementar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), en particular de metano (CH<sub>4</sub>) en el cultivo del arroz, lo que podría compensar parcial o totalmente su potencial efecto de mitigación. Con el objetivo de evaluar el impacto de la fertilización orgánica sobre el balance de carbono del sistema y la productividad del cultivo, en 2017 se estableció un ensayo de campo en el Delta del Ebro. El experimento se diseñó en bloques completamente aleatorizados con cuatro subréplicas por tratamiento. Se compararon tres tipos de fertilización: mineral (urea + sulfato amónico), purín y gallinaza, aplicados a una dosis de 190 kg N ha<sup>-1</sup>. Todas las parcelas se sembraron en seco y estuvieron sujetas a las mismas prácticas de manejo agronómico. La respuesta agronómica se evaluó anualmente. En 2023, tras seis años de experimentación, se determinó el stock de carbono orgánico del suelo en los primeros 30 cm y se midieron semanalmente las emisiones de GEI durante las fases de crecimiento y postcosecha del cultivo. La fertilización orgánica redujo significativamente el rendimiento medio de grano en aproximadamente un 30% en comparación con la fertilización mineral ( $P < 0,001$ ), que alcanzó un rendimiento medio de  $6223 \pm 60$  kg ha<sup>-1</sup>. Tras seis años de ensayo, las parcelas fertilizadas con gallinaza presentaron los mayores stocks de carbono orgánico del suelo ( $42,3 \pm 1,2$  Mg C ha<sup>-1</sup>), un 12% superiores al tratamiento mineral. Por el contrario, el purín mostró los valores más bajos, entre un 30% y un 37% inferiores a los observados en los tratamientos mineral y con gallinaza, respectivamente, posiblemente debido a un efecto *priming* asociado a la mineralización acelerada del carbono nativo del suelo. Las emisiones anuales de CH<sub>4</sub> fueron un 40% superiores bajo fertilización orgánica respecto a la mineral ( $53,3 \pm 11,0$  g CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup>). No obstante, las diferencias observadas en los stocks de carbono y en las emisiones de metano no fueron estadísticamente significativas ( $P > 0,05$ ). En conjunto, los resultados indican que la aplicación de gallinaza favorece el secuestro de carbono en comparación con la fertilización mineral, aunque este beneficio potencial se ve compensado por un incremento de las emisiones de CH<sub>4</sub>. La fertilización con purín se desaconseja debido a su baja respuesta agronómica y a su impacto negativo sobre el balance de carbono.

**Estudio financiado por los Fondos Climáticos de la Generalitat de Catalunya, proyectos *Mitigació en Arròs y Carboni al Sòl***

## Evaluación ambiental de bio-productos innovadores generados a partir de residuos orgánicos: FERTILAB.

Guillermo Pardo<sup>1\*</sup>, Esther Molina-Peñate<sup>2</sup>, Antoni Sánchez<sup>2</sup>, Javier Eduardo Sánchez Ramírez<sup>3</sup>, Ernesto Santateresa<sup>3</sup>, Encarnación Martínez Sabater<sup>4</sup>, Raúl Moral<sup>4</sup>, Lucía Valverde Vozmediano<sup>4</sup>, Rafaela Cáceres<sup>5</sup>, Miriam Cerrillo<sup>5</sup>, Víctor Riau<sup>5</sup>, Jordi Izquierdo<sup>6</sup>, Marga López<sup>6</sup>, Agustín del Prado<sup>1,7</sup>

<sup>1</sup> Basque Centre for Climate Change – BC3, E-48940 Leioa, España

<sup>2</sup> Grupo de Investigación en Compostaje (GICOM), Departamento de Ingeniería Química, Biológica y Ambiental, Universitat Autònoma de Barcelona

<sup>3</sup> Sociedad de Fomento Agrícola Castellonense, S.A.U. (FACSA), Castellón de la Plana, España

<sup>4</sup> Grupo GIAAMA, Instituto de Investigación e Innovación Agroalimentaria y Agroambiental CIAGRO Univ. Miguel Hernandez, EPSO, Orihuela, España

<sup>5</sup> Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentaris (IRTA), Programa de Sostenibilidad en Biosistemas, Torre Marimon, E-08140, Caldes de Montbui, España

<sup>6</sup> Dept d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia, Universitat Politècnica de Catalunya, Castelldefels, España

<sup>7</sup> Ikerbasque, — Basque Foundation of Science, E-48009 Bilbao, España

\*[guillermo.pardo@bc3research.org](mailto:guillermo.pardo@bc3research.org)

Los lodos de depuradora representan una fuente importante de macro y micronutrientes que deben ser recuperados, de acuerdo a los pilares de la circularidad de los sistemas agroalimentarios. Desde un enfoque multidisciplinar, el proyecto FertiLab plantea dar una segunda vida a estos materiales orgánicos, para sacar el máximo partido de ellos mediante su conversión en productos de mayor valor añadido, con interés clave para la agricultura sostenible. Para ello, a través de ensayos a escala laboratorio y planta piloto, se han estudiado dos estrategias principales de tratamiento: 1) la precipitación y recuperación de biofertilizantes enriquecidos en nutrientes, como la estruvita o la vivianita, y 2) la valorización de los lodos mediante fermentación en estado sólido, para dar lugar a enmiendas orgánicas con propiedades biopesticidas y bioestimulantes. Los análisis de sostenibilidad realizados muestran que la combinación de recuperación de fósforo en forma de estruvita y fermentación en estado sólido, representa una opción sostenible para el tratamiento de lodos, mejorando la rentabilidad, y disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero hasta un 50% con respecto al tratamiento de referencia, basado únicamente en digestión anaerobia. Los bioproductos generados facilitarían el aprovechamiento de los recursos contenidos en los lodos, aumentando su valor añadido y la viabilidad técnico-económica de su transporte a las zonas de producción agrícola. El análisis regional llevado a cabo indica que estos bioproductos podrían constituir un aporte muy relevante de nutrientes a nivel nacional, de entre el 2-13% del consumo de N mineral y el 4-6% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, con un ahorro potencial de fertilizantes minerales tan demandados como el superfosfato, de hasta 75000 t/año.

Este trabajo ha sido financiado por el por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades en la convocatoria de Proyectos de I+D+i en líneas estratégicas 2022 (Ref. PLEC2022-009252), en la prioridad: *Improvement of agriculture sustainability at territorial level based on agroecology principles and living labs*. BC3 es financiado por el Gobierno Español a través de la acreditación de excelencia María de Maeztu 2023-2026 (Ref. CEX2021-001201-M, MCIN/AEI/10.13039/501100011033) y por el Gobierno Vasco a través del programa BERCA 2022-2024.

## Effects of regenerative soil management, organic fertilization, and biological inoculation on edamame productivity and soil health

Marcelo Perrone Ricalde<sup>1,2</sup>, Xavier Parladé<sup>1</sup>, Carmen Biel<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Sustainable Plant Protection Program IRTA Cabrils, Road Cabrils km 2,2, 08348, Cabrils, Spain

<sup>2</sup> Administration Department, Embrapa Southern Livestock, Highway BR 153 Km 632,9, 96401-970, Bagé, Brazil

\*[carmen.biel@irta.cat](mailto:carmen.biel@irta.cat)

Soil management strongly influences agroecosystem sustainability by regulating soil structure, biological activity, and nutrient availability. This study evaluated the combined effects of regenerative soil management, organic fertilization, and inoculation with nitrogen-fixing bacteria (*Bradyrhizobium japonicum* and *B. diazoefficiens*) on edamame (*Glycine max*) productivity. The experiment was conducted at the IRTA experimental station in Cabrils, Barcelona, Spain (41°31'07" N, 2°22'34" E). Three soil management systems were compared: a regenerative system with organic compost, no tillage, and permanent wood mulch (REN); an organic system with organic compost, conventional tillage, and no soil cover (ORG); and a conventional system with mineral fertilization, conventional tillage, and no soil cover (CON). Each management system was evaluated with (+RIZ) and without (–RIZ) rhizobial inoculation. All treatments received drip fertigation; however, the REN treatment received 25% less irrigation due to greater soil water retention associated with regenerative practices, resulting in reduced nutrient input via fertigation. Edamame productivity, expressed as pod fresh weight (g plant<sup>-1</sup>), was 104.46a (REN +RIZ), 76.21b (REN –RIZ), 126.19a (CON +RIZ), 113.98a (CON –RIZ), 114.79a (ORG +RIZ), and 106.53a (ORG –RIZ). Rhizobial inoculation consistently enhanced productivity across all management systems, increasing pod number and weight as well as plant height. Enzymatic analyses showed no significant differences in phosphatase and β-glucosidase activities among treatments; however, dehydrogenase activity was significantly higher in inoculated treatments (+RIZ), indicating enhanced microbial oxidative activity. The regenerative system showed the greatest capacity for biological capital formation, evidenced by higher natural nodulation and increased soil organic matter and carbon contents. In contrast, the REN –RIZ treatment exhibited the lowest productivity, highlighting the critical role of biological inoculation in maximizing yield under regenerative management. Overall, these findings demonstrate that regenerative production systems can achieve yields comparable to conventional systems while improving soil health and reducing water use, supporting their viability for edamame production in Mediterranean environments.

**This work has been funded by the AgriRegenCat and AgriCarbonCat projects from Fons Climàtic. The first author thanks Embrapa for the opportunity to conduct a visiting scientist period.**

## Flujos de emisión de CH<sub>4</sub> y NH<sub>3</sub> en alojamientos de porcino de reproductoras en España

Adelaida Perea-Cachero<sup>1\*</sup>, Noemí Mateo-Marín<sup>2</sup>, Ignacio Clavería<sup>1</sup>, Mónica Guillén<sup>1</sup>, Dolores Quílez<sup>1</sup>, Arturo Daudén<sup>3</sup>, Eva Herrero<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Sistemas Agrícolas, Forestales y Medio Ambiente (SAFMA), Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Zaragoza, España

<sup>2</sup>Departamento de Medio Ambiente y Turismo, Dirección General de Calidad Ambiental, Gobierno de Aragón, Zaragoza, España

<sup>3</sup>Oficina de Proyectos, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Zaragoza, España

\*[aperea@cita-aragon.es](mailto:aperea@cita-aragon.es)

La gestión de estiércoles y purines, especialmente el purín porcino, constituye una fuente relevante de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y amoníaco (NH<sub>3</sub>) en la Unión Europea (Anestis et al., 2025). En este contexto, el proyecto LIFE CLINMED-FARM ([www.lifeclinmed.eu](http://www.lifeclinmed.eu)) tiene como objetivo reducir dichas emisiones en explotaciones ganaderas mediterráneas. Este trabajo desarrolla una metodología para estimar emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) y NH<sub>3</sub> en una sala de maternidad de una granja porcina española con sistema tradicional de vaciado de fosas, comparando dos tecnologías de medición: el analizador ETG 7200 (QEPAS) y el sistema SIMEDAM. Las emisiones se calcularon a partir de tasas de ventilación obtenidas mediante concentraciones gaseosas y temperatura registradas de forma continua (Pedersen and Sällvik, 2002). El SIMEDAM integra sensores de bajo coste, incluyendo dos para NH<sub>3</sub> (DOL y DURTOX), mientras que el QEPAS ofrece mediciones más precisas y avanzadas. Las campañas experimentales se realizaron en verano de 2024 e invierno de 2024/2025, permitiendo evaluar el efecto estacional. Los resultados indican mayores emisiones en invierno debido a una menor ventilación y mayores concentraciones en el interior de las naves. El SIMEDAM no pudo medir CH<sub>4</sub> por limitaciones del sensor. En cuanto al NH<sub>3</sub>, el SIMEDAM sobreestimó las emisiones en verano y las subestimó en invierno respecto al QEPAS, siendo el sensor DOL el más preciso. Los valores obtenidos coinciden con la bibliografía (Philippe et al., 2011; Philippe and Nicks, 2014), confirmando la fiabilidad del QEPAS y del sensor DOL para este tipo de mediciones en condiciones reales de granja.

**El proyecto LIFE CLINMED-FARM ha recibido financiación del Programa LIFE de la Unión Europea. El contenido de esta publicación es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja necesariamente la opinión de la Unión Europea.**

## Biochar: una estrategia viable para combatir el cambio climático para la agricultura mediterránea

Ana Simoes-Mota<sup>1</sup>, Samuel Franco-Luesma<sup>2</sup>, Tomás García<sup>3</sup>, Jorge Álvaro-Fuentes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Suelo y Agua, Estación Experimental de Aula Dei (EEAD), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Avd. de Montañana, 1005, Zaragoza, 50059, Zaragoza

<sup>2</sup> Departamento de Sistemas Agrícolas, Forestales y Medioambiente, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Avd. de Montañana, 930, Zaragoza, 50059, Zaragoza

<sup>3</sup> Instituto de Carboquímica (ICB), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), C. Miguel Luesma Castán, 4. 50018, Zaragoza

\* [asimoes\\_mota@eead.csic.es](mailto:asimoes_mota@eead.csic.es)

El biochar se considera una enmienda con potencial para modular los procesos edáficos y biogeoquímicos asociados a la fertilización mineral, especialmente en sistemas agrícolas mediterráneos semiáridos caracterizados por suelos calizos con bajo contenido de carbono orgánico, limitada capacidad de retención de nutrientes y elevada susceptibilidad a pérdidas de nitrógeno. En este contexto, y en el marco del proyecto europeo PYSOLO (PYrolysis of biomass by concentrated SOLar pOwer), se llevó a cabo un experimento de campo en la Estación Experimental Aula Dei (EEAD-CSIC, Zaragoza, España) durante una campaña de trigo (2024–2025). El objetivo del estudio fue evaluar los efectos agronómicos y ambientales de la aplicación de biochar producido a partir de la pirólisis de residuos forestales sobre la dinámica del carbono y del nitrógeno del suelo, así como sobre las emisiones de gases de efecto invernadero, en un suelo Typic Xerofluvent de textura franco-limosa, con bajo contenido de carbono orgánico y nitrógeno total, y alto contenido de carbonato cálcico. El biochar se obtuvo en una planta piloto de pirólisis continúa situada en el Instituto de Carboquímica (ICB-CSIC), equipada con tecnología de tornillo sinfín, operando bajo condiciones controladas de temperatura (500 °C) y atmósfera inerte, lo que garantizó un material altamente estable y adecuado como enmienda agrícola. El diseño experimental incluyó seis tratamientos: control sin fertilización (C), fertilización mineral (MF), dosis baja de biochar (2 t ha<sup>-1</sup>, LB), dosis media de biochar (6 t ha<sup>-1</sup>, MB), y las combinaciones de cada dosis de biochar con fertilización mineral (LB+MF y MB+MF). Los resultados preliminares indicaron que los tratamientos MF y LB+MF incrementaron significativamente las concentraciones de nitrato en el suelo, sugiriendo una mayor disponibilidad de N mineral y un mayor riesgo de pérdidas por lixiviación. En contraste, los tratamientos con aplicación exclusiva de biochar mostraron perfiles de nitrógeno más homogéneos y estables, lo que apunta a una mayor retención del N en el sistema suelo. De forma destacable, la combinación MB+MF redujo las emisiones acumuladas de N<sub>2</sub>O en más de un 140 % en comparación con MF, además de moderar las emisiones de CO<sub>2</sub>. En conjunto, estos resultados sugieren que la integración de dosis moderadas de biochar con fertilización mineral puede mejorar la eficiencia en el uso del nitrógeno y mitigar las emisiones gaseosas del suelo, contribuyendo a un manejo más sostenible del ciclo del C y N en suelos calizos mediterráneos.

**Estudio financiado por la Comisión Europea, Programa Horizonte Europa (HORIZON-CL5-2022-D3-02, proyecto PYSOLO) (Ref. 101118270).**

## Phase-Specific Inoculation of *Trichoderma harzianum* Reduces Cumulative Greenhouse Gas Emissions in Organic Waste Composting

Silvia Sánchez-Méndez<sup>1</sup>, Miguel Costa<sup>2</sup>, Luciano Orden<sup>1</sup>, Jose A. Sáez<sup>1</sup>, R. Moral<sup>1</sup>, Margarita Ros<sup>2</sup>, Jose Antonio Pascual<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Centro de Investigación e Innovación Agroalimentaria y Agroambiental (CIAGRO-UMH), Universidad Miguel Hernández, Carretera de Beniel Km 3,2, Orihuela, Alicante 03312, España.

<sup>2</sup>Enzymology and Bioremediation of Soils and Organic Waste Group. Soil and Water Conservation and Organic Waste Management Department. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC), Campus Universitario de Espinardo, Edificio 25, 30100 Murcia, Spain.

Although composting is widely recognized as an environmentally sound strategy for organic waste management, greenhouse gas (GHG) emissions remain a major concern when the process is not properly optimized. Microbial inoculation has been proposed as a strategy to improve compost quality and reduce environmental impacts. This study evaluated the effect of *Trichoderma harzianum* inoculation timing on cumulative GHG emissions and compost maturity. Three composting piles were prepared using pruning residues mixed with tomato waste: a non-inoculated control (P1), inoculation after the thermophilic phase (P2), and inoculation from the beginning of the composting process (P3). Cumulative emissions of N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, and NH<sub>3</sub> were measured and expressed as CO<sub>2</sub> equivalents (CO<sub>2</sub>-eq). The thermophilic phase reached temperatures up to 70°C in P1 and P2, ensuring proper sanitization. In contrast, P3 showed delayed temperature increase, likely due to early inhibition of native microbial communities by *T. harzianum*. Pathogenic bacteria (*E. coli* and *Salmonella*) were fully eliminated in all treatments. pH remained stable, electrical conductivity increased progressively, and soluble organic carbon (SOC), total organic carbon (TOC), and total nitrogen (TN) indicated adequate compost maturity across treatments. Cumulative CO<sub>2</sub>-eq emissions were significantly lower in P2 compared to P1 and P3. While early inoculation reduced N<sub>2</sub>O emissions, it resulted in higher cumulative CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emissions, leading to no net reduction in total CO<sub>2</sub>-eq. In contrast, inoculation after the thermophilic phase (P2) significantly reduced CH<sub>4</sub> emissions and overall CO<sub>2</sub>-eq, demonstrating the strongest mitigation effect. These results indicate that the timing of *T. harzianum* application is critical. Early inoculation may transiently influence specific gases but can disrupt the initial thermophilic dynamics, limiting long-term mitigation effects. Applying *T. harzianum* after the thermophilic phase appears to be a more practical and environmentally efficient strategy, enhancing compost maturation while significantly reducing cumulative greenhouse gas emissions.

## **Evaluación de las emisiones de GEIs bajo diferentes estrategias de fertilización organo-mineral y sistemas de riego en cultivo de brócoli.**

Silvia Sánchez-Méndez<sup>1</sup>, Cristina Álvarez-Alonso<sup>1</sup>, José A. Saéz-Tovar<sup>1</sup>, Luciano Orden<sup>1</sup>, Javier Andreu-Rodríguez<sup>1</sup>, Raúl Moral<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación e Innovación Agroalimentaria y Agroambiental (CIAGRO-UMH), Universidad Miguel Hernández, 03312, Carretera de Beniel Km 3,2, Orihuela, Alicante, España.

El uso de enmiendas orgánicas en suelos agrícolas aumenta el contenido en materia orgánica y mejora su estructura y fertilidad, lo que ayuda a mitigar los efectos de fenómenos climáticos extremos como la sequía y las lluvias torrenciales típicas de zonas mediterráneas. El uso de fertilizantes sintéticos supone un aumento de las emisiones de GEIs. La generación y utilización de fertilizantes alternativos a través de la valorización de residuos orgánicos se presenta como una opción de mitigación de las emisiones GEIs. El objetivo de este trabajo fue comparar las emisiones GEIs tras la aplicación de fertilizantes organo-minerales pelletizados en un cultivo de brócoli frente a la fertilización convencional y a enmiendas orgánicas frescas en dos fincas con sistemas de riego diferentes situadas en la Vega Baja del Río Segura (Guardamar). Para ello, se diseñó un experimento formado por dos lotes en función del tipo de riego aplicado: Lote A, riego por gravedad y Lote B, riego por goteo. En cada lote se estableció un diseño completamente aleatorizado, de 8 tratamientos: i) 4 fertilizantes pelletizados órgano-minerales (GUA1, GUA2, GUA3 y GUA4); ii) estiércol vacuno (M), iii) 2 fertilizantes inorgánicos comerciales (IN; NPK: 15-15-15 y 21-8-11) y iv) control (sin fertilización). En cada una de las parcelas de 36 m<sup>2</sup> se aplicaron los tratamientos en cobertera al momento del trasplante a una dosis normalizada de 170 kg N ha<sup>-1</sup>. Se realizaron mediciones GEIs con metodología de cámara cerrada estática con un equipo fotoacústico portátil (GASERA ONE<sup>®</sup>) en los días 0, 7, 21, 35, 50, 75 y 90, y se calcularon los flujos puntuales y acumulados a los 90 días. Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre sistemas de riego de los flujos de GEIs. El Lote A presentó los mayores pulsos de emisión de N<sub>2</sub>O (de manera más pronunciada tras los eventos de riego) debido a los ciclos de saturación del suelo que favorecieron la desnitrificación. En ese mismo lote regado por gravedad, los tratamientos con fertilizantes inorgánicos (IN) generaron las emisiones acumuladas más elevadas. Por el contrario, el Lote B mostró un patrón de emisiones más estable durante todo el ciclo del cultivo (90 días) y de menor magnitud. Los fertilizantes orgánico-minerales pelletizados (GUA) demostraron su potencial mitigador al presentar flujos GEIs inferiores a los de la fertilización convencional en ambos lotes, aunque su efecto fue más pronunciado en el Lote B debido a la sincronía entre la liberación de nutrientes y el desarrollo del cultivo brócoli.

**Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto Resilient Agricultural Irrigation systems for water Scarcity in Europe (RAINS) Activity: HORIZON-CL6-2024-CLIMATE-01-1.**

## **Fertilizantes de base orgánica para mejorar la funcionalidad del suelo en regiones semi-áridas: ciclo de nutrientes y estructura de la comunidad microbiana**

Antonio Rafael Sánchez-Rodríguez<sup>1\*</sup>, Sana Boubehziz<sup>1</sup>, José Javier Guerrero-Criado<sup>1</sup>, Lucía Guerrero-Gallardo<sup>1</sup>, Antonio Delgado<sup>2</sup>, Vidal Barrón<sup>1</sup>, María Carmen del Campillo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Agronomy, University of Córdoba, ETSIAM, Córdoba

<sup>2</sup> Department of Agronomy, University of Sevilla, Sevilla

\**antonio.sanchez@uco.es*

La fitodisponibilidad de fósforo (P) en suelos de las regiones semiáridas, incluidas zonas de clima mediterráneo, se encuentra limitada por la presencia de material parental carbonatado. Además, estos suelos se encuentran habitualmente degradados (bajo contenido de materia orgánica, altas tasas de erosión), lo que tiene un impacto negativo en su funcionalidad. Los fertilizantes de base orgánica pueden mejorar la funcionalidad del suelo, incrementando su materia orgánica, aportando nutrientes críticos para la agricultura y promoviendo la actividad microbiana, incluso en regímenes de precipitaciones muy variables típicos de los agroecosistemas mediterráneos. Sin embargo, la capacidad de estos potenciales fertilizantes de base orgánica para suministrar P está en entredicho, debido a la complejidad del ciclo del P en el suelo calcáreo unido a la falta de conocimiento de las dinámicas de estas enmiendas orgánicas en suelos con distintas propiedades físico-químicas. El objetivo de este estudio es evaluar la capacidad de potenciales fertilizantes de base orgánica para mejorar la funcionalidad del suelo agrícola mediterráneo, con especial interés en el ciclo del P y en las comunidades microbianas (bacterias, hongos y actividades enzimáticas). Se llevaron a cabo una serie de experimentos de campo y en condiciones controladas centrados en la rotación trigo-girasol, evaluando los efectos inmediatos y residuales de una selección de fertilizantes de base orgánica de origen y propiedades variadas (compost de alperujo, digestato, vermicompost, residuo sólido urbano compostado) y fertilizantes permitidos en agricultura ecológica, a base de residuos vegetales. A pesar de la ausencia de diferencias significativas en el rendimiento debido a la sequía (en el ensayo de campo), el compost de alperujo y el residuo sólido urbano compostado produjeron los mayores incrementos en la materia orgánica del suelo dos años después de su aplicación. El fertilizante de base orgánica que produjo mayores modificaciones en la estructura de la comunidad microbiana fue el compost de alperujo, seguido de los residuos sólidos urbanos compostados, mientras que estos últimos mejoraron de manera más eficiente la fertilidad del suelo, mejorando incluso la eficiencia en el uso del P de los fertilizantes minerales. Las actividades enzimáticas relacionadas con el ciclo del carbono y el fósforo también se vieron estimuladas por algunos de los fertilizantes de base orgánica, lo que indica una mejora en el funcionamiento bioquímico del suelo incluso en condiciones de humedad limitada. Los resultados demuestran que determinados fertilizantes de base orgánica modifican la funcionalidad del suelo mediterráneo, impulsando procesos microbianos, el ciclado de nutrientes y la eficiencia en el uso del P.

**Grant PID2023-149247OB-C22 ('SoPhos') funded by MICIU/AEI/ 10.13039/501100011033 and, by "ERDF/EU", European Union**

## Manejos sostenibles en agricultura: Análisis de Ciclo de Vida.

Sara San Francisco<sup>1\*</sup>, Roberto Baigorri<sup>1</sup>, Marcos Caballero<sup>2</sup>, Sergio Atarés<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Desarrollo para la Sostenibilidad Agroalimentaria. Fertinagro Biotech, Tajonar, Navarra.

<sup>2</sup> Departamento de Desarrollo para la Sostenibilidad Agroalimentaria. Fertinagro Biotech, Teruel.

\*[sara.sanfrancisco@tervalis.com](mailto:sara.sanfrancisco@tervalis.com)

En el actual contexto, la búsqueda de manejos menos agresivos con el medio ambiente y más rentables son una necesidad acuciante para la agricultura europea. Unos manejos agronómicos que nos permitan ser más sostenibles en toda la extensión que dicho adjetivo abarca. Bajo el epígrafe de Agricultura Sostenible pueden adaptarse todo tipo de estrategias agronómicas y/o comerciales. No obstante, debemos tener presente que la sostenibilidad se puede y se debe medir, se debe conocer cuál es el impacto numérico con dimensiones estandarizadas para que, con su conocimiento, podamos tomar mejores decisiones acerca de nuestras acciones para alcanzar el progreso económico, ambiental y social que es al fin lo que significa ser sostenible. Familiarizarnos con los métodos de evaluación de impacto ambiental nos permitirá conocer cuáles son las mejores prácticas en nuestras explotaciones, para poder conocer el servicio ambiental que proporcionamos y conseguir que este se conozca de forma concreta como nuestra aportación a la mitigación del cambio climático. Una de las herramientas más extendidas y que mejores resultados está ofreciendo en varios sectores económicos es el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y a través de su aplicación podemos comparar los diferentes impactos medioambientales entre una práctica de fertilización sostenible o convencional. El análisis del ciclo de vida (ACV) en este estudio tiene como objetivo el estudio del impacto medioambiental provocado por cada una de las entradas y salidas de flujos materiales y energéticos, a través de una serie de indicadores definidos por un método de cálculo. En este caso, el método de cálculo utilizado es ReCiPe MidPoint. Las diferentes categorías que constituyen el perfil medioambiental (calentamiento global, eutrofización de agua dulce, escasez de recursos minerales, acidificación terrestre...) desarrollado por el método ReCiPe MidPoint, pueden enmarcarse dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Vamos a estudiar tres casos diferentes de manejo agronómico desde los que podemos abordar una estrategia sostenible en la cual, sin comprometer la productividad, vamos a reducir unidades fertilizantes clásicas y observar un menor impacto ambiental. Todo ello garantizando la rentabilidad de nuestra explotación agropecuaria. Estos casos diferentes incluyen una tecnología que aumenta la biodisponibilidad del fósforo en el suelo, un plan de fertilización que incluye un fertilizante orgánico y un plan de fertilización con un fertilizante localizado. Los tres están basados en una reducción de unidades fertilizantes y buscan con diferentes estrategias una mayor eficiencia de las unidades fertilizantes aportadas.

## **Efecto del uso de cubiertas vegetales y fertilizantes orgánicos en las emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O) y secuestro de carbono en suelos de olivar**

Joyce Solórzano<sup>1\*</sup>, Ana Isabel Palma Toro<sup>1</sup>, Beatriz Gómez-Muñoz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Biotecnología y Protección Ambiental, Estación Experimental del Zaidín (EEZ), Granada, España

\*[joyce.solorzano@eez.csic.com](mailto:joyce.solorzano@eez.csic.com)

Los suelos mediterráneos, en general, y los del cultivo del olivar en particular, están sometidos a una grave degradación debido a factores topográficos, climáticos y al uso de prácticas agrícolas intensivas. La implementación de prácticas de manejo sostenible, como el mantenimiento de la cobertura vegetal o el uso de fertilizantes orgánicos, se ha propuesto como una estrategia clave para mejorar la salud del suelo. Sin embargo, persiste la incertidumbre sobre el efecto de estas prácticas en el secuestro de carbono a largo plazo (C) y las emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O), tanto cuando se aplican de forma individual como en combinación, para maximizar los servicios ecosistémicos, reduciendo la necesidad de insumos y los impactos ambientales. En el presente estudio se seleccionaron cuatro olivares comerciales con diferentes prácticas de manejo aplicadas durante al menos los últimos siete años. Los tratamientos incluyeron parcelas con y sin cubierta vegetal, así como olivares en los que se aplican fertilizantes orgánicos o minerales, y su combinación. En estas parcelas se tomaron muestras de suelo en la entrecalle y bajo la copa del olivo en noviembre de 2025, con el objetivo de minimizar el efecto residual de la última fertilización (enero de 2025), a profundidades de 0–10 cm y 10–20 cm. Posteriormente, se realizó un experimento de incubación en laboratorio bajo condiciones controladas durante 30 días, en el que se midieron los flujos de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O mediante el analizador láser portátil Mira Ultra (AERIS Technologies, Inc.). Asimismo, se realizó un fraccionamiento de C orgánico del suelo para cuantificar el efecto de estas prácticas de manejo en el secuestro de C a largo plazo. Los resultados preliminares sugieren que hay un incremento significativo en las emisiones de N<sub>2</sub>O en suelos de olivar con cubierta vegetal, en comparación con los suelos sin cubierta, observado principalmente en las muestras superficiales y tomadas bajo copa del olivo, ya que no hubo diferencias significativas cuando los suelos se tomaron a 10-20 cm de profundidad o en la entrecalle del olivar. De la misma forma, la respiración del suelo aumentó significativamente en suelos con cubierta vegetal en comparación con suelos desnudos. También se observó una tendencia a aumentar las emisiones del CO<sub>2</sub> cuando se aplican de forma combinada las enmiendas orgánicas y el uso de cubierta vegetal, especialmente en las muestras de suelo tomadas bajo copa, que es donde se aplican los fertilizantes orgánicos. Estos resultados sugieren una mayor actividad biológica de estos suelos donde se llevan a cabo prácticas de manejo sostenible. Sin embargo, esta mayor actividad biológica puede resultar en mayores emisiones de N<sub>2</sub>O en suelos de olivar. Los resultados del fraccionamiento de C se presentarán en el Remedia Workshop.

**Estudio financiado por la ayuda CNS2024-154602 de la ayuda financiada por MICIU/AEI /10.13039/501100011033. Y la ayuda RYC2022-035772-I de la ayuda financiada por MICIU/AEI /10.13039/501100011033 y por el FSE+.**

---

**AGRICULTURA – sesiones flash-talk II**

---

## Impacto del laboreo intensivo, laboreo tradicional y siembra directa de herbáceas en el carbono orgánico del suelo de la dehesa

María Almagro<sup>1\*</sup>, Francisco B. Navarro<sup>1</sup>, María Dolores Carbonero<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IFAPA Camino de Purchil, Camino de Purchil s/n, 18004 Granada, España

<sup>2</sup> IFAPA Hinojosa del Duque, Córdoba, España

\*[maria.almagro.bonmati@juntadeandalucia.es](mailto:maria.almagro.bonmati@juntadeandalucia.es)

Los cultivos herbáceos rotacionales para la provisión de forrajes y grano constituyen una forma de manejo habitual de las dehesas como complemento imprescindible para la alimentación del ganado. Esto mejora la autosuficiencia de las explotaciones, además de otros beneficios sobre el agroecosistema al mejorar la infiltración y acumulación de agua en el suelo y disminuir la compactación superficial provocada por el ganado. Sin embargo, un exceso de labores para preparar el terreno puede perjudicar a la dehesa al disminuir los contenidos en carbono orgánico del suelo, disminuir la calidad y producción del cultivo, dañar el sistema radical del árbol, o incrementar los costes de explotación. Con la adopción de prácticas sostenibles como el mínimo laboreo o la siembra directa se pretenden mitigar los impactos ambientales negativos y los costes de producción que supone el manejar el cultivo en ciclo corto y laboreo intensivo. El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de diferentes prácticas de cultivo herbáceo sobre los stocks de carbono orgánico del suelo e indicadores de salud edáfica en la dehesa. Se han seleccionado 6 dehesas representativas de diferentes manejos en la Comarca de Los Pedroches (Córdoba): i) laboreo intensivo con rotaciones anuales (n=2), ii) laboreo mínimo con rotaciones cada 4-5 años (tradicional) (n=2), y iii) siembra directa (n=2), que se comparan de forma pareada con pastos permanentes (n=6) que llevan al menos 10 años sin labrarse. En primavera de 2024 se muestreó la biomasa y se cogieron muestras de suelo alteradas (a 0-15 cm y 15-30 cm de profundidad) e inalteradas (a 0-5 cm y 15-20 cm de profundidad) en diferentes puntos de cada finca para estimar los reservorios de carbono orgánico del suelo y la biomasa aérea. Nuestros resultados no son concluyentes en cuanto a determinar el efecto del manejo del pasto sobre los reservorios de carbono del suelo y la biomasa ya que no se observaron patrones consistentes entre los diferentes tratamientos. Sin embargo, considerando ambos componentes del agroecosistema (suelo y pasto) los reservorios de carbono fueron mayores en el “laboreo intensivo” (31.01 t C/ha), seguido de los tratamientos “pasto permanente” y “siembra directa” (22.62 y 21.16 t C/ha, respectivamente), y siendo el “laboreo tradicional” el tratamiento que mostró los reservorios de carbono más bajos (17.90 t C/ha). La respiración microbiana del suelo, ampliamente utilizado como un indicador de salud edáfica, no mostró diferencias significativas entre tratamientos a ninguna profundidad.

**Este trabajo ha sido respaldado por el proyecto PR.TRA23.TRA2023.002 financiados por Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), del Programa de Desarrollo Rural de Andalucía 2021-2027. MA ha sido financiada con la ayuda RYC2020-029181-I financiada por MICIU/AEI /10.13039/501100011033 y por El FSE invierte en tu futuro**

## El incremento de temperatura intensifica la fotodegradación de los residuos vegetales y reduce el secuestro de carbono y nutrientes en agroecosistemas semiáridos mediterráneos

María Almagro<sup>1\*</sup>, Juan Castro<sup>1</sup>, Sergio Colombo<sup>1</sup>, Raúl Zornoza<sup>2</sup>, Eva Lloret<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IFAPA Camino de Purchil, Camino de Purchil s/n, Granada, España

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Agronómica de la Universidad Politécnica de Cartagena

\*[maria.almagro.bonmati@juntadeandalucia.es](mailto:maria.almagro.bonmati@juntadeandalucia.es)

La Política Agraria Común promueve el uso de cubiertas vegetales en cultivos leñosos para reducir la erosión y aumentar el secuestro de carbono (C) y la fertilidad del suelo. Sin embargo, no existe consenso sobre cuál es la mejor estrategia de manejo (desbrozado vs. cultivador) para favorecer el secuestro de C y nutrientes (N, P, K) en el suelo en climas semiáridos. Desbrozar la cubierta vegetal se plantea como una solución para evitar el laboreo y la consiguiente mineralización de la materia orgánica del suelo. Sin embargo, en climas semiáridos los residuos vegetales son muy susceptibles de fotodegradarse, un mecanismo a través del cual la radiación solar UV degrada la materia orgánica liberando C y N a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O, y por tanto impidiendo que se incorporen al reservorio suelo, acentuándose la magnitud del efecto con el aumento de la temperatura. En este contexto, el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto del calentamiento, la radiación UV, y el manejo de la cubierta vegetal (enterrado superficial vs. desbrozado), en la dinámica de C y nutrientes de dos especies (*Avena sativa* L. y *Vicia sativa* L.) comúnmente utilizadas como cubiertas vegetales en dos suelos representativos del sureste ibérico. En abril de 2024, coincidiendo con la fecha de manejo de la cubierta vegetal, se colocaron 192 *litterbags* sobre la superficie del suelo, expuestas o no a la radiación solar UV, o enterradas, en dos suelos diferentes, y bajo condiciones ambientales y de incremento de temperatura. En noviembre, antes de la campaña de siembra, se recogieron las *litterbags* y se realizaron una serie de análisis químicos y microbiológicos. Los resultados muestran que, independientemente del tipo de suelo o especie, el calentamiento disminuirá las tasas de descomposición debido a una disminución de la biomasa y actividad microbiana en condiciones de estrés. Paralelamente, la radiación solar UV aumentará las pérdidas de carbono, nitrógeno, fósforo y potasio de los residuos vegetales en un 55%, 34%, 52% y 41%, respectivamente, en condiciones ambientales (control), efecto que se multiplicará por un orden de magnitud con el incremento de temperatura previsto para el sureste ibérico. Nuestros resultados sugieren que en condiciones semiáridas (actuales y futuras) resulta conveniente el enterrado superficial de la cubierta vegetal con un cultivador en vez de desbrozarla para evitar las pérdidas directas de C y nutrientes a la atmósfera por fotodegradación y favorecer su secuestro en el suelo, generando balances positivos de carbono y nutrientes en suelos agrícolas semiáridos.

**Este trabajo ha sido financiado por el proyecto de I+D+i PID2022-136960OR-I00 financiado/a por MICIU/AEI/ 10.13039/501100011033 y por FEDER, UE. MA ha sido financiada con la ayuda RYC2020-029181-I financiada por MICIU/AEI /10.13039/501100011033 y por El FSE invierte en tu futuro**

## Mecanismos de emisión y secuestro de GEI en suelos salinos: ¿Qué sabemos?

Julia Burción<sup>1</sup>, Alberto Sanz-Cobeña<sup>1</sup>, Daniel Ortiz-Gonzalo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> CEIGRAM/Departamento de Química y Tecnología de los Alimentos, Universidad Politécnica de Madrid

\*[d.ortizgonzalo@upm.es](mailto:d.ortizgonzalo@upm.es)

España concentra la mayor superficie de suelos salinos dentro de la Unión Europea. La salinización es un problema en aumento en el arco mediterráneo, especialmente en regadíos y zonas costeras. La salinidad no solo reduce la productividad vegetal, sino que también modifica propiedades edáficas determinantes para los ciclos del carbono (C) y del nitrógeno (N): estrés osmótico, pH y alcalinidad, composición iónica, estructura y conductividad hidráulica, disponibilidad y movilidad de nutrientes y sustratos orgánicos, estado redox y difusión e intercambio de gases. En interacción con las comunidades microbianas, estos cambios controlan la magnitud y la variabilidad de los flujos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), aunque los mecanismos y umbrales que determinan la dirección de la respuesta siguen estando insuficientemente caracterizados. En esta revisión sintetizamos la evidencia disponible sobre cómo la salinidad modula las emisiones directas de GEI, e identificamos lagunas de conocimiento que puedan ayudar a orientar nuevos experimentos. Debido al aumento de la salinidad, numerosos estudios reportan disminuciones de CO<sub>2</sub> por respiración microbiana y radicular, en línea con el estrés osmótico y la menor actividad biológica. Sin embargo, una mayor disponibilidad de carbono lábil puede compensar o revertir esta señal. En relación con el N<sub>2</sub>O, la salinidad puede reducirlo al inhibir la nitrificación y la desnitrificación. Sin embargo, también incrementa N<sub>2</sub>O al favorecer la acumulación de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> en rangos específicos de salinidad o al dificultar la reducción de N<sub>2</sub>O a N<sub>2</sub> bajo limitación de carbono y condiciones redox fluctuantes. Los estudios más recientes sugieren respuestas no lineales de N<sub>2</sub>O a la salinidad, moduladas por propiedades del suelo (por ej., SOC y pH). Para el CH<sub>4</sub>, el patrón más consistente en ambientes anóxicos es la reducción de la producción con mayor salinidad, en particular cuando aumenta el sulfato, por competencia microbiana y las ventajas termodinámicas de rutas alternativas. No obstante, la salinidad también puede afectar la oxidación de CH<sub>4</sub> y el flujo neto depende del balance entre producción y consumo, además del transporte mediado por plantas. Las prácticas agrícolas pueden amplificar o amortiguar estas respuestas. El drenaje y el control del nivel freático alteran la aireación y pueden reducir “zonas calientes” anaerobias, modulando especialmente N<sub>2</sub>O bajo distintos esquemas de fertilización. Las enmiendas de recuperación (por ej. Yeso y polihalita) y la fertilización orgánica pueden reducir las emisiones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, pero incrementar a su vez las de N<sub>2</sub>O (por ej. en arrozales salino-alcalinos), evidenciando *tradeoffs* entre gases. Algunas incógnitas clave son los umbrales de salinidad por proceso, las interacciones salinidad-redox-carbono, el escalado espacio-temporal (hotspots/hot moments) y la evaluación integrada en CO<sub>2</sub>-equivalentes y huella de carbono para comparar estrategias de gestión y manejo del suelo. Para resolverlas serán necesarias mediciones acopladas de procesos, incluyendo trazadores isotópicos para discriminar rutas y fuentes de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O.

**Estudio financiado por el contrato 29038 bajo el CRP 2480 de IAEA-FAO**

## El análisis de frecuencia de flujos de CO<sub>2</sub> revela y predice el efecto de perturbaciones climáticas en el funcionamiento de agroecosistemas

Jaime C. Revenga<sup>1,2\*</sup>, Zulia Sánchez<sup>3</sup>, Enrico Yopez González<sup>3</sup>, Daniel Ortiz-Gonzalo<sup>4</sup>

<sup>1</sup> KU-MATH, Department of Mathematical Science, University of Copenhagen, Denmark.

<sup>2</sup> KU-IGN, Department of Geosciences and Natural Resource Management, University of Copenhagen, Denmark.

<sup>3</sup> ITSON, Instituto Tecnológico de Sonora, Sonora, México.

<sup>4</sup> CEIGRAM, Departamento de Química y Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Madrid, España.

\**jar@ign.ku.dk*

Las perturbaciones inducidas por el cambio climático afectan de manera creciente a los agroecosistemas, con consecuencias para la seguridad alimentaria, el ciclo del carbono y la integridad de la biosfera. La detección de señales tempranas de perturbación en AFOLU sigue siendo un desafío importante, debido especialmente a la diversidad de perturbaciones y de tipos de agroecosistemas, lo que dificulta la armonización de su evaluación. En este contexto, planteamos la hipótesis de que las características en el dominio de la frecuencia de los flujos ecosistémicos son más sensibles a las perturbaciones que la magnitud de la señal y, por tanto, pueden proporcionar indicadores más tempranos del funcionamiento y la productividad del ecosistema. Para poner a prueba esta hipótesis, aplicamos una transformada wavelet continua (CWT) al intercambio neto de CO<sub>2</sub> del ecosistema (NEE), utilizando una base Morlet y escalas adaptadas a los ritmos dominantes de paisajes agrarios de ecosistemas en ambos hemisferios (Europa, las Américas, África y el Sudeste Asiático). Nos centramos en la potencia wavelet a escala diaria (CWT<sub>24h</sub>) y evaluamos su efecto retardado sobre la dinámica del NEE. Nuestros resultados muestran que la información en el dominio de la frecuencia derivada del análisis wavelet ofrece una señal útil de alerta temprana ante alteraciones del ecosistema. En particular, demostramos que (i) CWT<sub>24h</sub> influye significativamente en el NEE hasta 24 horas antes de los eventos de perturbación; (ii) las pruebas de causalidad de Granger confirman una influencia causal de CWT<sub>24h</sub> sobre el NEE; y (iii) la incorporación de valores retardados de CWT<sub>24h</sub> en predicciones de NEE a un paso utilizando XGBoost mejora de manera consistente la precisión predictiva ( $\Delta$ -RMSE), con las mayores mejoras durante los periodos nocturnos, cuando la respiración del ecosistema domina la señal de intercambio neto de CO<sub>2</sub>. En conjunto, la información del dominio de la frecuencia resuelta en el tiempo, extraída de flujos de NEE medidos rutinariamente, permite una detección más temprana del estrés ecosistémico inducido por el clima y factores bióticos, así como una evaluación rápida de la integridad del ecosistema. El enfoque propuesto se basa exclusivamente en mediciones de flujo estándar con resolución de 30 minutos y puede implementarse fácilmente en redes de monitoreo de carbono en tiempo real como ICOS, NEON y AmeriFlux. Basándonos en estos principios, estamos desarrollando una base de datos de NEE y CWT<sub>24h</sub> para diagnosticar de manera global las respuestas fisiológicas del intercambio gaseoso frente a perturbaciones climáticas, aplicando este marco a campos de cultivo disponibles en los registros de ICOS y AmeriFlux.

## Efecto de la implantación de Buenas Prácticas Agrícolas en la capacidad mitigadora de los suelos en explotaciones cerealistas

Rosa M. Carbonell-Bojollo<sup>1</sup>, Rafaela Ordóñez-Fernández<sup>1</sup>, Manuel Moreno-García<sup>1</sup>, Emilio J. González-Sánchez<sup>2,3</sup>, Antonio M. Conde-López<sup>2</sup>, Óscar Veroz-González<sup>3</sup>, Francisco Pérez-Serrano<sup>1</sup>, Francisco Sánchez-Ruiz<sup>3</sup>, Miguel Á. Repullo-Ruibérriz de Torres<sup>2\*</sup>.

<sup>1</sup> Instituto de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA). Área de Recursos Naturales y Forestales. Alameda del Obispo. Apdo. 3092, 14080 Córdoba.

<sup>2</sup> Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. (ETSIAM). Universidad de Córdoba. 14014 Córdoba.

<sup>3</sup> Asociación Española de Agricultura de Conservación Suelos Vivos (AEACSV). IFAPA. 14005 Córdoba  
\*g72rerum@uco.es

La industria cerealista en Europa es de gran importancia por ser una de las mayores fuentes de alimento. Además, tiene un gran impacto en la economía, siendo generadora de empleo en las diferentes etapas de la cadena de producción, desde la agrícola, pasando por la industria de transformación, a la comercialización. La desconexión entre dichas etapas dificulta la implantación o adecuación a las estrategias de mitigación y adaptación del cambio climático planteadas en las políticas ambientales europeas. Bajo este escenario, el proyecto LIFE Innocereal EU pretende mejorar la relación entre todos los agentes de la cadena, facilitando la transición hacia una producción más sostenible reduciendo las emisiones y el favoreciendo el secuestro de C en los suelos cultivados. La fijación de C en el suelo (0-30 cm) se aborda analizando los efectos de la implantación de una serie de buenas prácticas agrícolas (BPA) en las diferentes explotaciones de la Red del proyecto situadas en las principales zonas cerealistas de España. Las BPA se seleccionaron según la zona climática donde se localizan las fincas de ensayo, empleándose tecnologías innovadoras (agricultura de precisión), estrategias de manejo del suelo (siembra directa), fertilización optimizada y el uso de bioestimulantes, entre otras. El manejo con BPA fue comparado con un manejo convencional como control. Los resultados de dos campañas de estudio (2022/23 y 2023/24), muestran las variaciones obtenidas en los stocks de C orgánico en suelo. Las fincas donde se realizó una buena implantación de las BPA registraron aumentos del stock, como la situada en Lebrija (Sevilla) donde se aumentó el C en 0,74 t/ha anuales. En otra finca situada en Osuna (Sevilla) el C mejoró en 0,36 t/ha/año, pero la tasa fue semejante a la obtenida en el control; esto ocurrió también en Albacete con unas tasas de 0,28 t/ha/año. En la finca situada en Palencia el incremento fue de 0,33 t/ha/año con BPA, siendo la tasa menor en el control; como ocurrió en la finca de Teruel con un valor de 0,49 t/ha/año con BPA. En la finca de Valladolid las BPA fueron peor implantadas, mostrando incrementos de sólo 0,11 t/ha/año; no obstante, en el manejo convencional hubo una pérdida de 0,81 t/ha/año como consecuencia del laboreo y las condiciones meteorológicas de estas campañas. En general las producciones fueron bajas, y la aportación de C al suelo fue menor debido la menor biomasa de restos generada. Las BPA implementadas, ayudan a mejorar las producciones de forma sostenible con menor uso de insumos y haciendo acciones que favorecen la mitigación del cambio climático.

**Estudio cofinanciado por la Unión Europea, Proyecto LIFE Innocereal EU “LIFE21-CCM-ES-101074009”.**

## Cubiertas vegetales como estrategia de regeneración del suelo y secuestro de carbono en viñedos mediterráneos

Laura Estrela-Muriel<sup>1\*</sup>, Xavier Domene<sup>2,3</sup>, Inmaculada Funes<sup>1</sup>, Elisenda Sánchez-Costa<sup>1</sup>, Eulàlia Serra<sup>1</sup>, Felicidad de Herralde<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias, Torre Marimon, C-59, km 12,1, 08140, Caldes de Montbui (Barcelona)

<sup>2</sup> CREA, 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès)

<sup>3</sup> Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès)

\*[laura.estrela@irta.cat](mailto:laura.estrela@irta.cat)

En viticultura es habitual la práctica del labrado para disminuir la competencia por los nutrientes y el agua. Sin embargo, el labrado continuado provoca la disminución del contenido de carbono orgánico en el suelo (COS), que se emite a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>, además de debilitar su estructura y las funciones del suelo, lo que disminuye su capacidad para retener agua y nutrientes. Actualmente se está extendiendo el uso de las cubiertas vegetales como estrategia para regenerar suelos degradados y favorecer el secuestro de carbono procedente del CO<sub>2</sub> atmosférico en estructuras más o menos lábiles del suelo, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático. El estudio se realizó en un viñedo experimental situado en Caldes de Montbui, Barcelona (España), con una cubierta vegetal espontánea establecida desde 2017. En 2023 se establecieron cuatro tratamientos: labrado convencional (LLC, realizado a 20 cm de profundidad entre 4 y 5 veces al año); labrado superficial (LLS, a 5 cm de profundidad una vez al año); alta densidad (HD, sin labrado en una zona con mayor densidad de plantas de vid y cuya cubierta vegetal establecida desde 2012); y cubierta vegetal (CV, sin labrado y con cubierta establecida desde 2017). Entre 2023 y 2025 se evaluó en cada tratamiento: (i) el stock de COS en los primeros 10 cm de suelo, y entre 10 y 30 cm de profundidad, (ii) la retención de agua mediante sondas a 30 cm, (iii) la erosión provocada por la lluvia mediante simulaciones de lluvia, (iv) la diversidad microbiana del suelo, y (v) la producción de uva y sarmientos. Los resultados reflejaron un mayor stock de COS en LLC tres meses después del primer labrado, seguido de una disminución en los años posteriores, y en el último año HD presentó valores de stock de COS mayores que el resto de los tratamientos. Asimismo, los tratamientos labrados presentaron menor humedad del suelo y mayor erosión provocada por la lluvia tras los eventos de labrado. Los índices de diversidad alfa indicaron una menor diversidad de hongos en LLC en comparación con HD. La producción de sarmientos fue superior en LLC durante todo el periodo estudiado, mientras que la producción de uva fue significativamente superior en LLC sólo en el último año de muestreo. Estos resultados ponen de manifiesto los efectos de las cubiertas vegetales sobre las funciones ecosistémicas del suelo bajo condiciones climáticas extremas, por ser 2023 un año seco y 2025 un año excepcionalmente lluvioso.

**Estudio financiado por los proyectos de Fondos Climáticos de la Generalitat de Catalunya AgriCarboniCat, AgriRegenCat y Carboni al sòl.**

## Manejo de cubiertas vegetales en viñedos para la conservación del agua y secuestro de carbono orgánico del suelo en escenarios de cambio climático

María José Fernández-Alonso<sup>1,\*</sup>, Ana María Torres Ramírez<sup>1</sup>, Pilar Carral<sup>1</sup>, Carlos García-Delgado<sup>1</sup>, Juan Emilio Herranz-Luque<sup>1</sup>, María José Marqués-Pérez<sup>1</sup>, Sara Sánchez-Élez<sup>2</sup>; Fernando Peregrina<sup>3,4</sup>, Derlis Enciso<sup>3</sup>, Ignacio Mariscal-Sancho<sup>3,4</sup>, Chiquinquirá Hontoria<sup>3,4</sup>, Marco Antonio Jiménez-González<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geología y Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid (UAM), 28049 Madrid, Spain

<sup>2</sup> Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario (IMIDRA), Madrid, Spain

<sup>3</sup> Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Madrid, Spain

<sup>4</sup> Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales (CEIGRAM), Madrid, Spain

\*[mariajose.fernandez@uam.es](mailto:mariajose.fernandez@uam.es)

Los viñedos constituyen un sector económico clave en la región mediterránea, donde la degradación del suelo y el cambio climático representan amenazas para la sostenibilidad agrícola y ambiental. Las políticas agrarias europeas promueven la mejora y conservación de la salud de estos suelos mediante la implantación de cubiertas vegetales que contribuyan al secuestro de carbono orgánico edáfico. No obstante, dichas cubiertas pueden competir con el viñedo por los recursos hídricos del suelo, comprometiendo la calidad y producción de uva especialmente durante primaveras secas, un fenómeno cuya frecuencia aumenta con el cambio climático. En el proyecto CUBIC se evalúa el efecto de las cubiertas vegetales sobre el sistema suelo-planta bajo escenarios de calentamiento climático simulado mediante cámaras de techo abierto que aumentan  $\sim 1.5^{\circ}\text{C}$  la temperatura ambiente. El sistema de estudio comprende viñedos jóvenes y maduros (20 años) de dos variedades de vid (Airén y Tempranillo) localizados en la Comunidad de Madrid (España). Estos viñedos están manejados bajo laboreo convencional y mediante cubiertas vegetales espontáneas. A lo largo de dos campañas de crecimiento se evaluará: dinámicas hídricas, fenología de la vid, rendimiento y calidad de la uva, cantidad y composición química del carbono orgánico del suelo, emisiones de  $\text{CO}_2$  del suelo, respuesta de la comunidad microbiana y la composición vegetal de las cubiertas verdes. Son escasos los estudios de campo que analizan de forma conjunta los efectos del calentamiento climático y las cubiertas vegetales sobre el sistema suelo-planta en viñedo mediterráneo, especialmente en términos de secuestro de carbono y su composición química, balance hídrico y producción agrícola. Este proyecto aporta una visión holística que permita orientar estrategias de mitigación climática basadas en un manejo sostenible del suelo.

**Estudio financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y FEDER/UE a través de los Proyectos I+D+i – Modalidad Generación de Conocimiento PID2023-147576OB-C21 y PID2023-147576OB-C22**

## La fertilización nitrogenada, la fecha de siembra y la longitud del ciclo como herramientas de adaptación al cambio climático del trigo en seco

José Luis Gabriel<sup>1\*</sup>, Raúl Allende-Montalbán<sup>2</sup>, Raúl San-Juan-Heras<sup>1</sup>, María del Mar Delgado<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Medio Ambiente y Agronomía, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA-CSIC), Madrid, España

<sup>2</sup>Departamento de Ciencia e Ingeniería Forestal y Agrícola, Universidad de Lleida, Lérida, España  
*\*gabriel.jose@inia.csic.es*

La variabilidad climática y los cambios en los patrones de precipitación y temperatura causados por el cambio climático tienen un impacto negativo en la producción de cereales de secano porque estos cultivos no solo están expuestos a, sino que dependen de, condiciones climáticas extremas. Por lo tanto, es imperativo implementar técnicas y metodologías (baratas) que permitan a los agricultores adaptar sus cultivos a las nuevas circunstancias. Tres métodos simples y rentables para ajustar un sistema de cultivo a esta situación podrían involucrar alterar la dosis de fertilizante, cambiar las fechas de siembra del cultivo y/o seleccionar variedades con diferentes ciclos de crecimiento que sean menos susceptibles a los eventos climáticos extremos que ocurren en etapas fenológicas críticas de su desarrollo. En nuestro experimento, examinamos el comportamiento de seis genotipos diferentes de trigo (*Triticum aestivum* L.) (con ciclos de crecimiento variables) sembrados en tres momentos (octubre, noviembre, febrero) y con tres dosis de fertilización nitrogenada ( $54 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $27 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $0 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) durante un ensayo de campo de 4 años. Los resultados mostraron que la escasez de agua fue el factor limitante predominante, ya que superó la deficiencia de N, siendo los cultivos semifertilizados tan productivos como los tratamientos completamente fertilizados. Sin embargo, la fecha de siembra fue el factor más influyente, observándose un aumento de rendimiento de hasta un 30% en el trigo sembrado en noviembre en comparación con el sembrado en octubre, mientras que retrasar la siembra del trigo a febrero disminuyó el rendimiento del cultivo. Además, las variedades también marcaron un gran efecto en el rendimiento final a lo largo de los 4 años, aunque se encontraron interacciones muy potentes entre los 3 factores introducidos y las condiciones climáticas de cada año. Estos resultados son de gran interés para gran cantidad de agricultores, ya que los cultivos de cereales en secano suponen una inmensa mayoría de la superficie agrícola española y de muchas otras regiones del mundo, ya que no sólo permitirán mejorar los rendimientos esperados, sino también permitirán mejorar la rentabilidad económica de las explotaciones y reducir el riesgo de contaminación gracias al ajuste de la fertilización.

**Estudio financiado mediante el proyecto RESUENA (MCIN/AEI/10.13039/501100011033/, PID2021-124041OB-C21) y publicado en Allende-Montalban y col (2024, doi: 10.1016/j.eja.2024.127346) y Gabriel y col (2025, doi: 10.1016/j.eja.2025.127738).**

## Emisiones de gases de efecto invernadero del suelo en función del manejo de cubierta vegetal en un cultivo de olivar en seto

Cristina García-Hernández\* <sup>1</sup>; Elena Samper-Pérez <sup>1</sup>; Alicia Morugán-Coronado <sup>1,2</sup>; María Dolores Gómez-López <sup>1</sup>; Raúl Zornoza <sup>1,2</sup>.

<sup>1</sup> Gestión, Aprovechamiento y Recuperación de Suelos y Agua, Departamento de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena, 30202, Cartagena, España.

<sup>2</sup> Instituto de Biotecnología Vegetal (IBV), Campus Muralla del Mar, Edificio I+D+I, Universidad Politécnica de Cartagena, 30202 Cartagena.

\*raul.zornoza@upct.es

El uso de cubiertas vegetales en las calles de cultivos leñosos se ha convertido en una estrategia positiva para capturar carbono en los suelos. No obstante, su papel en las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O no está tan clara, ni cómo afecta el tipo y manejo de cubierta en las emisiones de estos gases. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes tipos y manejos de cubiertas vegetales en las emisiones de gases de efecto invernadero del suelo en un cultivo de olivar en seto, tanto en la calle como en la línea de arbolado. Para ello se establecieron, en una finca de olivar en seto, cinco estrategias diferentes de cubiertas vegetales en noviembre 2024: i) suelo desnudo en calle mantenido con arado y herbicidas (SD); ii) cubierta espontánea incorporada como abono verde (CEav); iii) cubierta espontánea segada y dejada como mulch (CEm); iv) cubierta sembrada segada y dejada como mulch (CSm); y v) cubierta sembrada doblada y tumbada antes de la floración (CSd). Estas estrategias se establecieron al azar en parcelas de 400 m<sup>2</sup> por triplicado. Desde la siembra se han monitorizado, con una frecuencia mensual, las emisiones de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>. El procedimiento que se utilizó fue la técnica de cámara de gas cerrada asociada a un analizador multigás de espectroscopia infrarroja fotoacústica. Los resultados mostraron que las tasas de emisión de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> fueron más altas en las líneas portagoteros que en las calles, como consecuencia del riego, la fertilización y la actividad radicular. En general, la emisión de CO<sub>2</sub> en las calles fue significativamente mayor en los tratamientos con cubiertas sembradas, con una tasa media de 302 mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, en comparación con el resto de tratamientos, con una tasa media de 240 mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Las emisiones de N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> en las calles entre arbolado no mostraron diferencias significativas entre tratamientos, con una media de -0,022 mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> y 0,063 mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, respectivamente para N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>. En las líneas no hubo diferencias entre tratamientos para ninguno de los gases estudiados. Los resultados muestran una activación de la comunidad microbiana edáfica en las calles con el desarrollo de cubiertas sembradas, que desarrollan mayor cobertura y biomasa, con incremento en emisiones de CO<sub>2</sub>, pero sin efecto en N<sub>2</sub>O o CH<sub>4</sub>. El efecto de las cubiertas no afectó a las emisiones en la línea de arbolado. Se necesitan por tanto más meses de seguimiento de las emisiones y medidas del carbono orgánico del suelo y sus fracciones para entender el efecto del manejo de cubiertas en el ciclo del carbono y del nitrógeno.

**Estudio financiado por el Proyecto PID2021-122998OB-I00 del MCIN/AEI/10.13039/501100011033/ y FEDER. Cristina García-Hernández agradece el soporte financiero de las ayudas para contratos predoctorales para la formación de doctores/as al MCIN/AEI (PRE2022-104990). Elena Samper-Pérez agradece el soporte financiero como beneficiaria de una ayuda 22768/FPI/24 de Fundación Séneca de la Región de Murcia (Spain).**

## Efecto del calentamiento en las emisiones de gases de efecto invernadero en cultivo de veza con distinto manejo

Violeta Garrido<sup>1\*</sup>, Penélope Serrano-Ortiz<sup>2</sup>, María Almagro<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Estudiante del Máster Universitario en Conservación, Gestión y Restauración de la Biodiversidad, Universidad de Granada, Granada, España

<sup>2</sup>Departamento de Ecología, Universidad de Granada, Granada, España

<sup>3</sup>Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA), Centro Camino de Purchil, Granada, España

\*[violetagarmar@correo.ugr.es](mailto:violetagarmar@correo.ugr.es)

El cambio climático, causado principalmente por el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de origen antrópico como el CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, es uno de los principales desafíos actuales. La agricultura es una de las principales actividades emisoras según el tipo de cultivo, clima, suelo y manejo. La Política Agraria Común 2023-2027 propone el eco-régimen P6, que consiste en mantener una cubierta vegetal viva (natural o sembrada) en las calles de cultivos leñosos para mejorar la estructura y el contenido de carbono del suelo, reducir la erosión y las emisiones de GEI. Sin embargo, aún se desconoce cuál es la estrategia de manejo de la cubierta vegetal más idónea (desbrozado vs enterrado) en climas mediterráneos para contribuir a la mitigación y adaptación al cambio climático. En este contexto, el objetivo de este estudio es evaluar el efecto de la cubierta vegetal, su manejo y el calentamiento en las emisiones de GEI (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) y en la producción de biomasa en un cultivo de veza. El estudio se está realizando en un ensayo situado en el IFAPA Camino de Purchil, en Granada. Se emplea un diseño de parcelas divididas (*split-plot*) al azar, con la presencia de cubierta vegetal como parcela principal y el manejo como subparcela, con tres repeticiones por tratamiento. La siembra se realizó en octubre de 2025, y posteriormente se instalaron las cámaras de techo abierto (*open top chamber*; OTCs) para incrementar la temperatura y anillos permanentes dentro (“incremento de temperatura”) y fuera (“condiciones control”) de dichas OTCs, así como en el suelo desnudo. Las emisiones de GEI se miden con un equipo formado por una cámara (8200-01S, Smart Chamber, Li-Cor, Lincoln, NE, USA) conectada a un analizador de gases trazas (LI-7810, Li-Cor, Lincoln, NE, USA) para medir el CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> y a un analizador LI-7820 (Li-Cor, Lincoln, NE, USA) para medir el N<sub>2</sub>O. Además, la cámara incluye un sensor auxiliar (Stevens HydraProbe) para medir la humedad y temperatura del suelo. Desde octubre a abril (periodo crecimiento), las mediciones se realizarán cada 2-3 semanas, y diariamente tras el manejo de la cubierta durante varias semanas. Después de cada medida se fotografía el anillo, se mide la altura de la veza, se corta la biomasa a ras del anillo, se seca en la estufa a 60°C, y se pesa para estimar el carbono y nitrógeno fijado en la biomasa. Para calcular el flujo de cada GEI se utiliza el programa SoilFluxPro y para evaluar los efectos de la cubierta vegetal, manejo y calentamiento en las emisiones GEI se realizará un ANOVA de medidas repetidas. Se plantea la hipótesis de que el intercambio de estos GEI sobre el cultivo de veza dependerá del manejo y del calentamiento, con mayores emisiones en los tratamientos de enterrado y calentamiento.

## Modelización espacial del secuestro de carbono en suelos bajo prácticas regenerativas en Mallorca

Jordi Illán-Medina, Elena Baraza\*

Grupo PlantAgro INAGEA-UIB Ctra. Valldemossa, km 7.5. Palma (Illes Balears)

\*[elena.baraza@uib.cat](mailto:elena.baraza@uib.cat)

La agricultura convencional y los cambios de uso han provocado una reducción significativa del carbono orgánico del suelo (COS), especialmente en regiones mediterráneas vulnerables como la isla de Mallorca. No obstante, la misma agricultura puede ser mecanismo de recuperación de los suelos y de mitigación del cambio climático, cuando aumenta la capacidad del suelo para secuestrar carbono atmosférico mediante el manejo regenerativo. En este trabajo se evalúa el potencial de mitigación climática de los suelos agrícolas de Mallorca mediante el modelo RothC, aplicado bajo distintos escenarios de manejo. Se compara un escenario de referencia de agricultura convencional (business-as-usual, BAU) con diversos escenarios de agricultura regenerativa que incluyen el uso de cubiertas vegetales, la aplicación de enmiendas orgánicas, la diversificación mediante rotaciones de cultivos y la reducción o eliminación del laboreo, solas o en combinación. Las simulaciones se realizaron para un horizonte temporal de 20 años utilizando información espacialmente explícita disponible en la web sobre textura de suelos, usos del suelo y clima. Los resultados muestran que, bajo el escenario BAU, la mayoría de los suelos agrícolas tienden a perder carbono y a comportarse como fuentes netas de CO<sub>2</sub>. En contraste, todas las prácticas regenerativas consideradas generan incrementos significativos del COS, que en función del tipo de cultivo y del manejo pueden llegar a duplicar e incluso quintuplicar los valores iniciales. El análisis espacial permite, además, identificar zonas prioritarias con alto potencial de secuestro, facilitando la focalización de las medidas de gestión. Estos resultados ponen de manifiesto que la agricultura regenerativa puede constituir una estrategia eficaz y territorialmente dirigida de mitigación del cambio climático en sistemas agrícolas mediterráneos. El enfoque de modelización empleado proporciona una base cuantitativa útil para apoyar el diseño de políticas agroambientales, la planificación territorial y el desarrollo de esquemas de contabilidad y compensación de carbono en suelos agrícolas.

## ¿Son relevantes las emisiones de metano en cultivos extensivos de regadío del Valle del Ebro?

Ramón Isla<sup>1\*</sup>, Ignacio Clavería<sup>2</sup>, Jorge Álvaro-Fuentes<sup>1</sup>, Victoria Lafuente<sup>1</sup>, Pilar Paniagua<sup>1</sup>, Elena García<sup>1</sup>, José Caveró<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Suelo y Agua, EEAD-CSIC, Zaragoza, España

<sup>2</sup>Departamento de Sistemas Agrícolas, Forestales y Medio Ambiente, CITA, Zaragoza, España

\*[risla@eead.csic.es](mailto:risla@eead.csic.es)

El metano (CH<sub>4</sub>) es el segundo gas traza en importancia que contribuye al forzamiento radiativo de la atmósfera. Las emisiones desde los suelos de CH<sub>4</sub> a escala global son relevantes, pero en los estudios realizados en los sistemas agrarios en España se han observado tanto valores positivos asociados a organismos metanogénicos, como negativos asociados a metanótrofos. Este estudio pretende determinar los efectos netos de los flujos de metano en sistemas de regadío por aspersión en el valle medio del Ebro y determinar si existen diferencias en función de los cultivos. Mediante cámaras estáticas se han medido durante 2 campañas los flujos de metano en cuatro sistemas de cultivo anuales: un cultivo de maíz con un cultivo cubierta de veza, un cultivo de soja con un cultivo cubierta de cebada, un doble cultivo de cebada y-soja de ciclo corto y un doble cultivo de guisante y-maíz de ciclo corto. Se realizaron entre 83 y 97 muestreos de gases dependiendo del sistema de cultivo, instalando 6 cámaras (área=0,07 m<sup>2</sup>) en cada uno de los cuatro sistemas de cultivo, determinando las concentraciones de metano por cromatografía de gases con medidas de concentración en el interior de las cámaras a tiempos cero y 45 minutos. Simultáneamente se midió la humedad volumétrica del suelo (0-10 cm) junto a las cámaras. En conjunto, un 26% de los flujos medidos fueron distintos de cero ( $p < 0,1$ ), siendo un 1,4% positivos y 24,7% negativos. Los flujos oscilaron entre -65,5 y +65 g C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, con un valor medio de -1,0 g C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, indicando un predominio de la metanotrofia en estos sistemas. Las emisiones anuales acumuladas de metano en los cuatro sistemas de cultivo oscilaron entre  $-188 \pm 48$  y  $-496 \pm 190$  g C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>, sin observarse un efecto significativo del factor año ni diferencias estadísticas entre los cuatro sistemas de cultivo evaluados. Dichas emisiones acumuladas fueron estadísticamente distintas de cero en tres sistemas en 2024, pero en ningún sistema en 2025. Cuantitativamente, el efecto sumidero de metano fue pequeño y transformado a equivalentes de CO<sub>2</sub> supone, en promedio, la compensación de únicamente el 0,75% de las emisiones directas asociadas al óxido nitroso en dichos sistemas. La humedad volumétrica del suelo (0-10 cm) osciló entre el 12 y el 37%, predominando las condiciones aerobias, sin observarse una relación entre dicha variable y los flujos de metano del suelo. En resumen, las emisiones de metano en sistemas de regadío por aspersión en el Valle del Ebro son muy pequeñas, con tendencia a ser negativas y presentan escasa relevancia comparadas con las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de los flujos de óxido nitroso y de otras emisiones indirectas.

**Estudio financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España (PID2021-126344OB-C31 y PID2021-126344OB-C32)**

## Proyecto DiverSoil: Impacto de la Diversificación de Cultivos en las Comunidades Biológicas del Suelo y su Potencial para Mitigar el Cambio Climático

Laura B. Martínez-García<sup>1\*</sup>, Victoria Lafuente<sup>1</sup>, Jorge Álvaro-Fuentes<sup>1</sup>, Mercedes García García<sup>2</sup>, María Videgain Marco<sup>3</sup>, Juan José Jiménez Jaén<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Suelo y Agua, Estación Experimental de Aula Dei (EEAD), Consejo Superior de Investigaciones Científica (CSIC), Zaragoza, España.

<sup>2</sup>Departamento Conservación de Biodiversidad y Restauración de Ecosistemas, Instituto Pirenaico de Ecología (IPE), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Zaragoza-Jaca, España

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Zaragoza, Huesca, España.

\*[lbmartinezgarcia@eead.csic.es](mailto:lbmartinezgarcia@eead.csic.es)

Durante décadas, el sistema de manejo tradicional en los agrosistemas extensivos de secano mediterráneos ha consistido, principalmente, en laboreo intensivo, periodos largos de barbecho con suelo desnudo y un uso excesivo de fertilizantes nitrogenados. Estas prácticas han provocado una disminución del carbono orgánico del suelo, una degradación de su estructura y una reducción de la biodiversidad edáfica. La diversificación de cultivos y sustitución del barbecho largo por cultivos cubierta, se presenta como una estrategia de intensificación sostenible, capaz de mejorar la salud del suelo. Sin embargo, los mecanismos que conectan la diversidad vegetal con la biodiversidad edáfica, la estabilidad estructural y el balance neto de carbono (secuestro de carbono frente a emisiones de gases de efecto invernadero) siguen siendo poco conocidos en condiciones de secano mediterráneo. El proyecto DIVERSOIL (PID2024-161114OB-I00) investiga cómo la diversificación de cultivos influye en; i) las comunidades biológicas del suelo y su funcionalidad, ii) la estructura del suelo, iii) su potencial para mitigar el cambio climático. Su objetivo principal es optimizar estrategias de diversificación que mejoren la salud del suelo, reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero y sostengan la productividad agrícola. DIVERSOIL utiliza dos enfoques metodológicos complementarios para testar sus hipótesis. El primero consiste en un experimento de campo establecido en 2022 en un sistema de cebada de secano, donde se evalúa el efecto de diferentes cultivos cubierta (leguminosa, gramínea y mezcla) mediante un diseño experimental en bloques completamente aleatorizado en bloques con tres repeticiones. El segundo enfoque metodológico se basa en parcelas demostrativas con agricultores, en las que se evalúa la diversificación en la rotación de cultivos a lo largo de un gradiente de precipitación en Aragón. DIVERSOIL integra indicadores biológicos, estructurales y funcionales del suelo para cuantificar cambios en el carbono orgánico del suelo y en las emisiones de GEI, permitiendo una evaluación conjunta del potencial de mitigación climática de estos sistemas. Este póster presenta la estructura del proyecto DIVERSOIL y los resultados preliminares de las emisiones de gases de efecto invernadero del suelo durante la campaña 2025-2026.

**Estudio financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, Proyectos De Generación de Conocimiento (2024: PID2024-161114OB-I00)**

## Efecto del manejo del suelo y las rotaciones de cultivos sobre las emisiones de GEI del suelo: estudio de dos campañas en la Meseta Norte

Andrea Martínez-Santamaría<sup>1\*</sup>, Arturo Santiago-Pajón<sup>1</sup>, Jorge Álvaro-Fuentes<sup>2</sup>, Victoria Lafuente<sup>2</sup>, María Alonso-Ayuso<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Área de Investigación Agrícola, Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León, 47071, Valladolid.

<sup>2</sup>Departamento de Suelo y Agua, Estación Experimental de Aula Dei (EEAD-CSIC), 50059, Zaragoza.

\*[marsanan@itacyl.es](mailto:marsanan@itacyl.es)

La gestión agrícola desempeña un papel esencial en la mitigación del cambio climático al modular la dinámica de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del suelo. En este contexto, este estudio evalúa los efectos de diferentes prácticas de manejo del suelo — incluyendo la siembra directa y el mínimo laboreo—, combinadas con rotaciones basadas en leguminosas, sobre los flujos de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> del suelo en un experimento de campo de larga duración localizado en Valladolid, Castilla y León (España). Durante las campañas agrícolas 2023/2024 y 2024/2025, las emisiones de GEI del suelo se midieron periódicamente, desde la siembra hasta la cosecha, en 36 parcelas experimentales: 18 manejadas bajo mínimo laboreo y 18 bajo siembra directa. Ambos sistemas de manejo siguieron las mismas rotaciones de cultivo —trigo–avena–cebada y trigo–garbanzo–cebada— con tres repeticiones de cada rotación por sistema de manejo. Las emisiones de GEI del suelo se determinaron mediante el método de cámaras estáticas, ampliamente utilizado para el muestreo de emisiones de GEI en suelos. Las muestras de gas se recogieron a intervalos regulares de dos semanas a lo largo de la campaña, incrementándose la frecuencia de muestreo en los días inmediatamente posteriores a los eventos de fertilización. Todas las muestras fueron analizadas mediante cromatografía de gases, calculándose los flujos a partir del incremento de la concentración en el tiempo. Los resultados preliminares indican que tanto los eventos de fertilización como los episodios de precipitaciones intensas provocaron incrementos pronunciados en los flujos de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O, observándose diferencias estadísticamente significativas entre los dos sistemas de manejo del suelo en fechas concretas. Asimismo, se detectaron diferencias entre las rotaciones, lo que evidencia la influencia del tipo de cultivo en las emisiones de GEI del suelo. En contraste, los flujos de CH<sub>4</sub> se mantuvieron próximos a valores neutros o ligeramente negativos, indicando que el suelo no actuó como una fuente ni como un sumidero relevante de metano. Estos resultados preliminares evidencian la importancia de la gestión del suelo en el control de las emisiones de GEI en condiciones mediterráneas. La finalización de la rotación de tres años, actualmente en curso, permitirá consolidar la base técnica necesaria para definir estrategias de manejo orientadas a la mitigación climática, integrando la respuesta del sistema a lo largo de un ciclo de rotación completo.

**Proyecto PID2022-138060OR-I00 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 / FEDER, UE. El contrato es parte de la ayuda PREP2022\_000498, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por el FSE+.**

## Tolerance of *Miscanthus giganteus* and *Cannabis sativa* to saline soils.

A. Martín-Pablo<sup>1,3</sup>, D. Soto<sup>1</sup>, C. Rad<sup>2</sup>, B. Velasco-Arroyo<sup>3</sup>, A. Arnaiz<sup>4</sup>, M. Medrano<sup>1</sup>, E. Calvel-Millan<sup>1</sup>, R. Barros<sup>1</sup>

<sup>1</sup> International Research Centre in Critical Raw Materials for Advanced Industrial Technologies (ICCRAM), University of Burgos, Plaza Misael Bañuelos s/n. 09001 Burgos

<sup>2</sup> Research Group in Composting (UBUCOMP), University of Burgos, Faculty of Science, Plaza Misael Bañuelos s/n, 09001, Burgos, Spain

<sup>3</sup> Department of Biotechnology and food Science, University of Burgos, Faculty of Science, Plaza Misael Bañuelos s/n, 09001, Burgos, Spain

<sup>4</sup> Department of Chemistry, University of Burgos, Faculty of Science, Plaza Misael Bañuelos s/n, 09001, Burgos, Spain

\*rbarros@ubu.es

Soil salinity is a major constraint on soil health and therefore on crop productivity, particularly for salt-sensitive plants with low salinity thresholds. Soil salinization is mainly driven by climate change and inadequate irrigation practices, industrial or mine activities, and is especially severe in semi-arid and arid regions. This study aimed to evaluate the tolerance of two plant species with potential industrial use as a fibre feedstock, *Miscanthus x giganteus* and *Cannabis sativa* (hemp), grown under different soil salinity levels. Soils were collected from agricultural fields affected by saline intrusion associated with sodium sulphate mining activities. A pot experiment was conducted under greenhouse-controlled conditions for four months for *Miscanthus* and two months for hemp. The experimental design included four soils with different salinity levels and three replicates per treatment: a control soil, a low salinity soil, medium salinity soil, and a high salinity treatment, which was artificially generated by amending the low salinity soil with mine-derived salts at a rate 1.5% (w/w), reaching an electrical conductivity value of approximately 7 dS m<sup>-1</sup>. During this tolerance assay, plant growth parameters such as height, number of leaves, stomatal conductance and relative chlorophyll content were measured. At harvest, soil samples were collected to determine final EC and other soil properties. Plant material was harvested and stored at -80 °C for the analysis of pigments, protein content and antioxidant activities. In addition, rhizosphere microorganisms were isolated from each treatment to assess their tolerance to salinity and Plant Growth Promoting (PGP) traits. Hemp height was reduced by 57% under high salinity soil compared to the control, whereas *Miscanthus* showed only 4% reduction, indicating a higher tolerance to saline conditions. These results indicate that *Miscanthus* is a promising candidate for cultivation under high salinity conditions, while hemp may be better suited to soils with medium to moderate salinity levels.

**This work was supported by the PHYBi project (Horizon Europe, GA No. 101156439) and the predoctoral grant awarded to A. Martín by the Government of Castilla y León**

## Drought-induced changes in wheat-associated soil microbiomes in Italy and Spain

A. Martín-Pablo<sup>1, 3</sup>, D. Soto<sup>1</sup>, C. Rad<sup>2</sup>, S. Curiel-Alegre<sup>1</sup>, A. Soto-Cañas<sup>1</sup>, B. Velasco-Arroyo<sup>3</sup>, A. Arnaiz<sup>4</sup>, M. Medrano<sup>1</sup>, D. Scicchitano<sup>5</sup>, G. Palladino<sup>5</sup>, M. Candela<sup>5</sup>, R. Barros<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> International Research Centre in Critical Raw Materials for Advanced Industrial Technologies (ICCRAM), University of Burgos, Plaza Misael Bañuelos s/n. 09001 Burgos, Spain

<sup>2</sup> Research Group in Composting (UBUCOMP), University of Burgos, Faculty of Science, Plaza Misael Bañuelos s/n, 09001, Burgos, Spain

<sup>3</sup> Department of Biotechnology and Food Science, University of Burgos, Faculty of Science, Plaza Misael Bañuelos s/n, 09001, Burgos, Spain

<sup>4</sup> Department of Chemistry, University of Burgos, Faculty of Science, Plaza Misael Bañuelos s/n, 09001, Burgos, Spain

<sup>5</sup> Department of Pharmacy and Biotechnology, University of Bologna, Bologna, Italy

\*[rbarros@ubu.es](mailto:rbarros@ubu.es)

Microbial communities associated with crops are essential drivers of soil fertility and plant resilience under changing climatic conditions. The TRIBIOME project investigates the diversity and functional traits of wheat-associated microbiomes, focusing on both rhizospheric and endophytic compartments. The study evaluates the influence of environmental variables and agronomic management on microbial community dynamics. Field experiments were carried out during the 2022/2023 season in Spain and Italy using soft and durum wheat. Geo-referenced soil and plant samples were collected at key phenological stages (flowering, maturity, and post-harvest) and subjected to DNA extraction and amplicon sequencing. Using 16S rRNA and ITS metabarcoding, 1052 rhizosphere and bulk soil samples were analysed to assess bacterial and fungal community dynamics under contrasting water availability scenarios. Field trials with *Triticum aestivum* and *T. durum* revealed consistent distinctions between rhizosphere and bulk soil microbiomes across species. Water availability emerged as key driver of microbial diversity: irrigated plots showed greater  $\alpha$ -diversity, while arid conditions constrained diversity and reshaped microbial assemblages. Among bacteria, *Sphingomonas*, *Paenibacillus*, *Microvirga*, *Gemmata*, *Variovorax*, *Microbacterium*, and *Bradyrhizobium* emerged as recurrent genera enriched in both rhizosphere and bulk soil under drought conditions. Similarly, among fungi, the genera *Talaromyces*, *Periconia*, *Mortierella*, *Curvularia*, and *Rhizopus* were consistently more abundant under arid conditions. Similar patterns were observed in both wheat species, indicating that microbial responses to aridity were largely independent of host type. Nevertheless, inherent soil characteristics are likely to modulate these effects and deserve further exploration. Altogether, these results advance our knowledge of microbiome responses to climate-related stress and provide a basis for the implementation of microbiome-informed approaches in sustainable agricultural systems.

**Acknowledgements:** This work was supported by the TRIBIOME project (Horizon Europe, GA No. 101084485) and the predoctoral grant awarded to A. Martín by the Government of Castilla y León.

## **Cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero de suelos agrícolas mediante un sistema automático de incubación en laboratorio**

Daniela Milián<sup>1\*</sup>, Jorge Álvaro-Fuentes<sup>1</sup>, Borja Latorre<sup>1</sup>, Victoria Lafuente<sup>1</sup>, Ana Bielsa<sup>1</sup>, Samuel Franco-Luesma<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Suelo y Agua, Estación Experimental de Aula Dei (EEAD-CSIC), 50059, Zaragoza

<sup>2</sup>Departamento de Sistemas Agrícolas, Forestales y Medio Ambiente, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Unidad Asociada al CSIC por la EEAD, 5059, Zaragoza

\**dmilian@eead.csic.es*

Uno de los principales desafíos en el contexto del cambio climático es la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) procedentes de los suelos agrícolas, especialmente en sistemas intensivos, donde la fertilización nitrogenada y el manejo de suelo influyen de manera decisiva en los flujos de emisión de gases como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). La determinación de estas emisiones resulta importante para la evaluación de estrategias de manejo más sostenibles. Sin embargo, los métodos tradicionales de medida presentan algunas limitaciones como la frecuencia de muestreo y la necesidad de personal. En este trabajo se presenta el desarrollo y puesta en marcha de un sistema de incubación automático en condiciones controladas de laboratorio que permite la determinación de las emisiones de los tres principales GEI (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) en muestras de suelo. Este sistema de medida se utilizó para evaluar el efecto de diferentes dosis de fertilización nitrogenada y manejos del suelo sobre las emisiones de GEI. El sistema permitió aislar la influencia de posibles factores externos al realizarse las mediciones bajo condiciones controladas. Para ello, se emplearon muestras de suelo (0-5 y 5-20 cm de profundidad) procedentes de un ensayo de 6 años de duración con distintos tratamientos de fertilización nitrogenada (sin fertilización, fertilización media con 200 kg N ha<sup>-1</sup>) y dos tipos de manejo del suelo (laboreo convencional y siembra directa) en un sistema de maíz con cultivo cubierta de veza en la época entre cultivos. Además, con el fin de estudiar el comportamiento del procesado de la muestra de suelo en las posibles tasas de emisión, se compararon muestras alteradas e inalteradas provenientes de los primeros 5 cm de suelo. Para cada incubación se utilizaron 200 g de suelo tamizado a 4 mm y humedad ajustada al 60% de la capacidad de retención de agua disponible (CRAD). Una vez en las cámaras del sistema de incubación, se cuantificó de forma continua la emisión de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O durante 48 h, obteniéndose una medida completa de las 12 muestras cada 2h y 40 min. Los resultados preliminares han mostrado la capacidad del sistema para detectar diferencias en las emisiones del suelo en función del tipo de manejo y de la dosis de fertilización nitrogenada. Este sistema constituye una buena herramienta para la comparación rápida y cribado previo a su implementación en ensayos de campo de prácticas agronómicas orientadas a la mitigación y el control de emisiones de GEI del suelo, fomentando el desarrollo de estrategias de manejo del suelo más sostenibles ante el cambio climático.

**Estudio financiado por la Comisión Europea, Proyecto Bioservices (Ref. 101112374)**

## Dinámica del Carbono del Suelo y Productividad de los Cultivos en Condiciones Mediterráneas: Un enfoque de modelización con DNDC

Mirela Mujkic<sup>1\*</sup>, Ed Jones<sup>2</sup>, Jagadeesh Yeluripati<sup>2</sup>, José Manuel Mirás Avalos<sup>3</sup>, Farida Dechmi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, Departamento de Sistemas Agrícolas, Forestales y Medio Ambiente (Unidad Asociada EEAD-CSIC), Avda. Montañana 50059, Zaragoza, España

<sup>2</sup>The James Hutton Institute, Craigiebuckler AB15 8QH, Aberdeen, Escocia

<sup>3</sup>Misión Biológica de Galicia (MBG-CSIC), Departamento de Suelos, Biosistemas y Ecología Agroforestal, Avda. Vigo 15705, Santiago de Compostela, España

\*[mmujkic@cita-aragon.es](mailto:mmujkic@cita-aragon.es)

Los modelos basados en procesos, como DNDC (Desnitrificación–Descomposición), constituyen una herramienta clave para evaluar la dinámica del carbono orgánico del suelo (COS) y la productividad de los cultivos bajo diferentes condiciones de manejo y clima. El objetivo de este estudio fue calibrar el modelo DNDC para los cultivos de maíz, cebada, guisante y girasol en un sistema de regadío del Valle Medio del Ebro (España), y evaluar su desempeño en la simulación del COS y el rendimiento de grano. La calibración de los parámetros fisiológicos de los cultivos considerados y la disponibilidad de COS se llevó a cabo utilizando la versión DNDC 9.5 y empleando datos de campo de las campañas 2015–2016 y 2020–2021 en el polígono de Riego de La Violada (un total de 34 parcelas de maíz, 22 de cebada, 11 de guisante y 5 de girasol). Se utilizaron series climáticas de los últimos 30 años (1986–2022) para el *spin-up* del modelo, con el fin de estabilizar las condiciones iniciales del suelo ( $\text{kg kg}^{-1}$  COS y disponibilidad hídrica en el suelo). Los resultados muestran un ajuste adecuado entre los rendimientos de grano simulados y observados para el maíz de ciclo corto (CC) y de ciclo largo (CL), con valores de error cuadrático medio normalizado (nRMSE) de 19,4 % y 12,2 %, respectivamente. El modelo subestimó ligeramente el rendimiento del maíz CC y lo sobreestimó para el maíz CL. El COS en la capa superficial del suelo (0–10 cm) fue reproducido satisfactoriamente, aunque con una ligera subestimación general reflejada en valores negativos de BIAS. Esta calibración del modelo para el cultivo del maíz indica la necesidad de mejorar la precisión de simulación para reproducir con mayor exactitud los valores observados del maíz. En este trabajo, se van a presentar los parámetros calibrados para todos los cultivos representativos de la zona de estudio (maíz, cebada, guisante y girasol) considerando la metodología aplicada para el cultivo del maíz y proporcionar las bases para evaluar prácticas de manejo orientadas a incrementar las reservas de COS bajo escenarios de cambio climático.

**Estudio financiado por el proyecto LIFE22-IPC-ES-LIFE PYRENEES4CLIMA (101104957), el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, y la Agencia Estatal de Investigación (AEI), con cofinanciación del Fondo Social Europeo Plus (ESF+), que otorgaron un contrato predoctoral (PRE2022-103427) a Mirela Mujkic.**

## Emisiones de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O y factores de emisión de N<sub>2</sub>O en suelos mediterráneos contrastados en materia orgánica

Evangelina Pareja-Sánchez<sup>1\*</sup>, Beatriz Gómez-Muñoz<sup>2</sup>, Ana Isabel Palma-Toro<sup>2</sup>, Joyce Solórzano<sup>2</sup>, Roberto García-Ruiz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Universitario de Investigación en Olivar y Aceite de Oliva (INUO), Universidad de Jaén, Jaén, España.

<sup>2</sup>Estación Experimental del Zaidín (EEZ-CSIC), Granada, España. \*epareja@ujaen.es

En olivares mediterráneos gestionados bajo enfoques agroecológicos, el uso de enmiendas orgánicas es una práctica clave para mejorar la fertilidad del suelo y favorecer el secuestro de carbono. Sin embargo, estas enmiendas pueden alterar la dinámica del carbono (C) y del nitrógeno (N) del suelo y, por tanto, influir en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), especialmente CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O. En los inventarios nacionales, la metodología del IPCC aplica a las enmiendas orgánicas un factor de emisión genérico del 1% del N aportado para N<sub>2</sub>O (IPCC, 2019), sin considerar la calidad de la materia orgánica o su relación C/N, lo que podría sobreestimar las emisiones reales asociadas a fuentes con elevado contenido de carbono estabilizado. El objetivo de este estudio es cuantificar experimentalmente las emisiones acumuladas de N<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> asociadas a diferentes enmiendas orgánicas y minerales utilizadas en el manejo sostenible del olivar y evaluar su adecuación respecto a los factores de emisión empleados por el IPCC. Para ello, se realizó un experimento de incubación controlado en dos suelos representativos de olivares mediterráneos con contenido de materia orgánica (MO) contrastados (alto y bajo). Se compararon siete tratamientos: control sin enmienda, restos de poda, biochar, restos de cubierta vegetal, estiércol de cabra, alperujo compostado y urea, manteniendo la humedad del suelo a capacidad de campo. Los resultados preliminares muestran que las emisiones de N<sub>2</sub>O dependieron claramente del tipo de enmienda y del suelo. En el suelo con alta MO, el estiércol presentó las mayores emisiones acumuladas (0,50 mg N<sub>2</sub>O–N kg<sup>-1</sup>), mientras que en el suelo con baja MO el máximo se observó con urea (0,19 mg N<sub>2</sub>O–N kg<sup>-1</sup>), multiplicando por más de ocho veces las emisiones del control. En contraste, enmiendas ricas en carbono más estabilizado, como biochar o alperujo compostado, mostraron emisiones acumuladas claramente inferiores ( $\leq 0,06$  mg N<sub>2</sub>O–N kg<sup>-1</sup>). Los factores de emisión de N<sub>2</sub>O calculados oscilaron entre <0,01% y 0,09%, muy por debajo del valor genérico del 1% propuesto por el IPCC. Las emisiones de CO<sub>2</sub> mostraron picos tempranos tras la aplicación de las enmiendas, especialmente en aquellas con mayor fracción de carbono fácilmente degradable. En el suelo con alta materia orgánica, la cubierta vegetal y el estiércol alcanzaron emisiones acumuladas de 5441 y 4252  $\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$  en 23 días, respectivamente, mientras que el biochar mostró una respuesta respiratoria más moderada (1849  $\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$ ). En el suelo con baja materia orgánica, las emisiones acumuladas fueron menores, con máximos en estiércol y cubierta vegetal (3579 y 3117  $\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}$ ). Adicionalmente, se están analizando variables edáficas y microbianas (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N microbiano, pH, conductividad eléctrica, actividades enzimáticas y P disponible) para explicar los mecanismos que controlan las emisiones y evaluar posibles co-beneficios en la disponibilidad de nutrientes asociados a cada manejo. En conjunto, estos resultados respaldan la necesidad de avanzar hacia enfoques Tier 2–3, basados en procesos y tipos de enmienda, para una contabilidad más realista de los GEI en olivares mediterráneos.

**Estudio financiado por Proyecto NUTRIOLIVAR (Plan Operativo de Investigación y Transferencia del Conocimiento UJA 2023; apoyo FEDER Andalucía 2021–2027, (M.A.B.A TA\_000080\_UJA23)).**

## **Diversification of Wheat-Based Cropping Systems with Legumes as a Strategy for Greenhouse Gas Mitigation in Coastal Mediterranean Environments.**

Wala Sassi<sup>1\*</sup>, Marta Escolà<sup>1</sup>, Laura Burgos<sup>2</sup>, August Bonmatí<sup>2</sup>, Marta Da Silva<sup>3</sup>, Jordi Doltra<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sustainable Field Crops, IRTA Mas Badia, 17134 La Tallada d'Empordà (Girona)

<sup>2</sup> Biosystems Sustainability, IRTA Torre Marimon, 08140 Caldes de Montbui (Barcelona)

<sup>3</sup> Sustainable Field Crops, IRTA Centre d'Agrònoms, 25198 Lleida

\*[wala.sassi@irta.cat](mailto:wala.sassi@irta.cat)

Mediterranean cereal production systems are faced with challenges of maintaining productivity while reducing environmental impacts. Wheat monocropping, a common practice that has been often associated with significant losses of nitrogen, increased levels of greenhouse gas (GHG) emissions, and low system resilience. In this context, cropping systems diversification through grain legumes integration represents a promising strategy to redesign cereal systems to improve environmental performance. This study focuses on climate change mitigation through wheat-based cropping systems diversification using grain legumes. Field experiments were conducted in Torroella de Montgrí (Baix Empordà, Girona), a Mediterranean coastal area characterized by a warm and subhumid climate. Field experiment was initiated in 2022 on a calcareous, non-saline soil, classified as loamy in the topsoil (0–30 cm) and silty loam in the subsoil (30–60 cm), with alkaline pH conditions. Six wheat-based cropping systems are evaluated, combining management type (conventional vs. ecological), crop precedent (barley vs. faba bean), and cropping design (wheat monocropping vs. wheat – faba bean intercropping). A randomized block design with three blocks is followed, with all the treatment combinations in each block. Conventional and ecological management areas are separated, and crop precedents are arranged in adjacent strips in each block to maintain the same crop rotation history. Each plot is 45 m<sup>2</sup> (15 x 3 m). The research objective is to quantify soil GHG emissions (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, and CH<sub>4</sub>), during cropping season. Static chamber is the technique used to quantify emissions. The study also includes soil temperature and volumetric water content measurements, which are key factors affecting seasonal GHG emissions pattern. Preliminary results indicate distinct emissions dynamics among cropping systems. CO<sub>2</sub> fluxes, showing a strong seasonality associated with environmental conditions, soil cropping systems and crop growth, while N<sub>2</sub>O fluxes show episodic peaks related to fertilization events and moisture conditions. Effects on N<sub>2</sub>O fluxes dynamics in cropping systems with legumes, both as a precedent crop and in intercropping, compared to cereal precedents are discussed. This suggests that cropping systems, especially with legumes, are a key factor in controlling direct GHG emissions from soils, regardless of management type. The results highlight the potential of diversified wheat cropping systems as a strategy for mitigating GHG emissions in Mediterranean cereal production.

**This work is a part of GRAIN SYST project- PID2021-127339OR-C41 financed per MCIN/AEI /10.13039/501100011033 / FEDER, UE.**

## Soil Nitrogen Dynamics and Nitrogen Contribution of Legumes in Diversified Wheat-Based Systems

Wala Sassi<sup>1\*</sup>, Marta Escolà<sup>1</sup>, Laura Burgos<sup>2</sup>, August Bonmatí<sup>2</sup>, Marta Da Silva<sup>3</sup>, Jordi Doltra<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sustainable Field Crops, IRTA Mas Badia, 17134 La Tallada d'Empordà (Girona)

<sup>2</sup> Biosystems Sustainability, IRTA Torre Marimon, 08140 Caldes de Montbui (Barcelona)

<sup>3</sup> Sustainable Field Crops, IRTA Centre d'Agrònoms, 25198 Lleida

\**wala.sassi@irta.cat*

Nitrogen use optimization remains a major challenge in Mediterranean cereal systems, in which synthetic material use, and simplified crop rotation can result in inefficient nitrogen cycling and environmental losses. Crop rotation diversification with legumes can be a strategy to modify the nitrogen pathways in the system by altering soil nitrogen availability, and nitrogen supply from crops. Field experiments were conducted in Torroella de Montgrí (Baix Empordà, Girona), a Mediterranean coastal area characterized by a warm and subhumid climate. Field experiment was initiated in 2022 on a calcareous, non-saline soil, classified as loamy in the topsoil (0–30 cm) and silty loam in the subsoil (30–60 cm), with alkaline pH conditions. Six wheat-based cropping systems are evaluated, combining management type (conventional vs. ecological), crop precedent (barley vs. faba bean), and cropping design (wheat monocropping vs. wheat – faba bean intercropping). A randomized block design with three blocks is followed, with all the treatment combinations in each block. Conventional and ecological management areas are separated, and crop precedents are arranged in adjacent strips in each block to maintain the same crop rotation history. Each plot is 45 m<sup>2</sup> (15 x 3 m). This study focuses on soil nitrogen dynamics and contribution of legumes in wheat cropping systems, evaluating the impact of crop history (barley vs. faba bean and cropping design (pure wheat stands vs. wheat – faba bean intercropping) influence on soil mineral nitrogen content and soil nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions under conventional or organic management. Soil sampling is conducted at key stages of the crop cycle: before sowing, at crop maturity, and after harvest. Static chamber is the technique used to quantify emissions. Determination of N in aboveground biomass of crops at maturity stage was also performed. Mineral nitrogen content (nitrate and ammonium) is determined to assess nitrogen availability and soil residual nitrogen under different management systems. Intercropped systems tend to show different residual nitrogen profiles compared to pure stands, reflecting legumes inclusion in the rotation. Preliminary results suggest that the dominant form of mineral nitrogen in the soil is nitrate, however, the ammonium proportion in total mineral nitrogen is significant. Precedent crops and intercropping configuration significantly affect nitrogen dynamics. The impact of the different nitrogen transformation pathways between managements on soil N<sub>2</sub>O is discussed.

**This work is a part of GRAIN SYST project- PID2021-127339OR-C41 financed per MCIN/AEI /10.13039/501100011033 / FEDER, UE.**

## Potencial de acumulación de carbono orgánico del suelo en cultivos de cereal de secano con prácticas de agricultura de conservación

Judit Torres<sup>1\*</sup>, Inés Santín<sup>2</sup>, Jose Luis Gabriel<sup>2</sup>, Alberto Lázaro<sup>2</sup>, Laura Hernández Mateo<sup>1</sup>, Isabel Cañellas<sup>1</sup>, Marta Gómez-Giménez<sup>3</sup>, Bertrand Guennet<sup>4</sup>, Dimitra Palantza<sup>5</sup>, Benjamín S. Gimeno<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Dinámica y Gestión Forestal, Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR), INIA-CSIC, Madrid, España

<sup>2</sup>Departamento de Medio Ambiente y Agronomía, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria-CSIC, Madrid, España

<sup>3</sup>Remote Sensing & Geospatial Analytics, GMV Aerospace and Defence SAU, Madrid, España

<sup>4</sup>Laboratoire de Géologie, École Normale Supérieure (ENS), PSL Research University, CNRS, París, Francia

<sup>5</sup>Laboratory of Remote Sensing, Spectroscopy, and Geographic Information Systems (GIS), School of Agriculture, Aristotle University of Thessaloniki, Themi, Grecia

\*[judit.torres@inia.csic.es](mailto:judit.torres@inia.csic.es)

La implementación de prácticas de agricultura de conservación para aumentar el carbono orgánico del suelo (COS) en sistemas de cereales de secano requiere mantener estas prácticas durante largos periodos y aplicarlas sobre superficies extensas para que la cantidad de carbono acumulado resulte significativa en el contexto del mercado voluntario de carbono. En este estudio se utilizan datos de un ensayo realizado desde 2006 hasta 2021 en la finca experimental “La Canaleja”, situada en el centro peninsular, donde se ha cuantificado el efecto de diversas prácticas agrícolas en el COS. Estos datos han permitido parametrizar y ajustar el modelo de procesos RothC. A continuación, esta parametrización se aplica a un área de 100 km<sup>2</sup> adyacente a la finca, que comparte las mismas condiciones climáticas y edáficas. Los objetivos principales son: (i) evaluar la parametrización de RothC frente a los datos experimentales de La Canaleja para estimar el COS y la contribución de la teledetección en la estimación de las variables de entrada del modelo, permitiendo la escalabilidad espacial; (ii) estimar el potencial de acumulación de COS de la zona al sustituir el sistema dominante (monocultivo de cereal con laboreo convencional) por una rotación sin laboreo (NTrot); y (iii) analizar cómo los escenarios climáticos futuros, basados en las proyecciones del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático derivadas del Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, condicionarán la dinámica de acumulación de COS. El área de estudio se caracteriza por una dedicación casi exclusiva al monocultivo de cereales de secano y barbechos bajo laboreo convencional. En este contexto, se estimará el incremento de COS asociado a la conversión del 25, 50, 75 y 100% de la superficie agrícola al tipo de gestión NTrot durante diferentes marcos temporales. Las estimaciones se realizarán a partir de: (a) la parametrización de RothC con datos *in situ* de “La Canaleja”; (b) las simulaciones de RothC escaladas espacialmente mediante imágenes de satélite; (c) las nuevas ejecuciones del modelo empleando una línea base ajustada con valores de biomasa observados en monocultivos sometidos a laboreo convencional; y (d) las proyecciones del COS bajo escenarios futuros de cambio climático. Finalmente, se discutirán las implicaciones prácticas para los agricultores, considerando la coherencia entre los distintos métodos de estimación, el efecto de la agricultura de C en los procesos edafológicos, el potencial de almacenamiento de COS y su relevancia en el mercado voluntario de carbono.

**Estudio financiado por la Comisión Europea, Programa Horizonte, proyecto MRV4SOC (contrato n.º 101112754).**

## **Efecto del manejo del rastrojo, la fertilización y los cultivos cubierta sobre las emisiones de gases del suelo en maíz para aprovechamiento energético del residuo**

Javier Villamayor<sup>1\*</sup>, Sara San-Francisco<sup>1</sup>, Roberto Baigorri<sup>1</sup>, Jorge Álvaro-Fuentes<sup>1</sup>, María Alonso-Ayuso<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de I+D, Fertinagro Biotech S.L., 44195, Teruel; <sup>2</sup>Departamento de Suelo y Agua, Estación Experimental de Aula Dei (CSIC), 50059, Zaragoza; <sup>3</sup>Área de investigación Agrícola, Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACYL), 47071, Valladolid.

\*[javier.villamayor@tervalis.com](mailto:javier.villamayor@tervalis.com)

El aprovechamiento del rastrojo de maíz como fuente de biomasa para producción energética es una alternativa que puede contribuir a reducir la dependencia de combustibles fósiles. Sin embargo, la extracción excesiva del residuo conllevaría a reducir la calidad del suelo y comprometer la productividad del sistema de cultivo. Además, estos cambios pueden afectar a los procesos microbianos del suelo responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del suelo. Por ello es preciso identificar estrategias de manejo que permitan compatibilizar la retirada de biomasa para fines energéticos con la conservación del suelo y la sostenibilidad del sistema. En este trabajo se presenta la primera campaña de dos ensayos experimentales ubicados en Valladolid, en los que se evaluó: 1) el efecto conjunto del manejo de distintos tipos de fertilización y manejo del rastrojo y 2) el efecto combinado del manejo de rastrojo, y la implantación de un cultivo cubierta durante el periodo otoño-invernal, sobre las emisiones de GEI del suelo. En el primer experimento, se evaluaron 4 tratamientos de fertilización en sementera (fertilizante mineral, fertilizante organomineral, fertilizante organomineral con dosis reducida, control sin fertilizar y 3 tratamientos de tasas de retirada de residuos (0, 50 y 100%). En cambio, en el segundo experimento, se evaluaron 3 tratamientos de tasas de retirada de residuos (0, 50 y 100%); y la implantación de un cultivo cubierta de cebada frente al suelo desnudo durante el periodo de intercultivos. Las emisiones de GEI del suelo (dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>; óxido nitroso, N<sub>2</sub>O y metano, CH<sub>4</sub>) se cuantificaron mediante la metodología de cámaras estáticas, realizando muestreos cada dos semanas durante toda la campaña del cultivo, y con una mayor frecuencia durante el periodo de abonado de fondo y cobertera. En cada muestreo, las muestras de gas se tomaron al inicio y tras 40 minutos de cierre de la cámara, se almacenaron en viales, y se analizaron posteriormente mediante cromatografía de gases. En conjunto, estos resultados refuerzan la importancia de seguir investigando estrategias de manejo del rastrojo, la implantación de cubiertas y los diferentes tipos de fertilización para avanzar hacia sistemas de producción de maíz más sostenibles, eficientes y compatibles con el desarrollo de bioenergía agrícola y la mitigación de emisiones de GEI.

**Proyecto financiado por el Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León con las ayudas 2023 para promover la atracción de talento científico-técnica (Resolución de 7 de agosto de 2023). Expediente 4/2023-ATI, SOSMAÍZ. NOS IMPULSA, JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN.**

## Regional variability of maximum phosphorus sorption capacity in soils of Paraná State, Southern Brazil

Marcos Yassuhiro Inoue<sup>1\*</sup>, Esmeralda Aparecida Soares Garcia<sup>1</sup>, Antônio Rafael Sanchez-Rodriguez<sup>2</sup>, Oriel Tiago Kölln<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Agronomy, State University of Northern Paraná, UENP Brazil

<sup>2</sup>Department of Agronomy, University of Córdoba, Córdoba, Spain

\**oriel.kolln@uenp.edu.br*

Soils located in the state of Paraná, in southern Brazil, are largely weathered and are characterized by the presence of iron and aluminum oxides and hydroxides, which confer a high capacity for phosphorus (P) sorption. The maximum P sorption capacity (MPSC) corresponds to the maximum amount of P that a soil can retain and can be used as a complementary parameter to understand P dynamics in soils. The objective of this study was to estimate the MPSC of 26 soils from the state of Paraná and to evaluate its correlation with physicochemical and geographic attributes, especially clay content, total organic carbon (TOC), remaining P, and altitude. The MPSC was determined by fitting the Langmuir isotherm. TOC was estimated by wet combustion using a dichromate solution followed by titration with ammonium ferrous sulfate. Remaining P was determined from the P concentration in solution after equilibrating the soil with a standard solution containing 60 mg L<sup>-1</sup> of P. Clay content was determined by the hydrometer method after mechanical dispersion and stabilization of the samples, using 1 mol L<sup>-1</sup> NaOH as the chemical dispersant. The sampled soils showed MPSC values ranging from 30 mg kg<sup>-1</sup> to 2930 mg kg<sup>-1</sup>, with most presenting values above 500 mg kg<sup>-1</sup>. A positive correlation was observed between MPSC and clay content ( $\rho = 0.41$ ,  $p = 0.041$ ), indicating a greater P retention capacity in soils with higher clay contents. Remaining P showed a negative correlation with MPSC ( $\rho = -0.98$ ,  $p = 2.8 \times 10^{-7}$ ), confirming its validity as an indirect and practical indicator of P retention capacity. TOC showed a positive correlation with MPSC ( $\rho = 0.92$ ,  $p = 1.5 \times 10^{-11}$ ), indicating that soils with higher organic matter content have a greater capacity to retain P. Altitude was also positively correlated with MPSC ( $\rho = 0.73$ ,  $p = 2.7 \times 10^{-11}$ ), demonstrating the indirect influence of pedogenetic factors, as well as greater or lesser preservation of organic matter under higher-altitude conditions. Overall, the results showed that clay content, as an indicator of P retention capacity, shows lower sensitivity to the mineralogy of the clay fraction when compared with remaining P. TOC and altitude do not directly control MPSC in the same way as the mineral fraction. Their relationship is modulated by pedogenetic processes and by climatic and textural soil conditions, which influence the preservation of soil organic matter and the mineralogy of the clay fraction.

**The authors acknowledge the (CAPES) for the scholarship granted to the first author (Process No. 88887.964902/2024-00); the Araucária Foundation for the scholarship PRD2023361000686; the State University of Northern Paraná (UENP); the Soil Fertilization and Fertility Research Group (GPAFS); and the University of Córdoba – UCO – Soil Science Unit and the project: PID2023-149247OB-C22, Title: Manejo del suelo y del fósforo para sistemas agrícolas resilientes.**

## Impact of phosphate fertilization on soybean yield and profitability over three growing seasons in Parana, Brazil

Marcos Yassuhiro Inoue<sup>1</sup>; Rayne Baena<sup>1</sup>; Larissa da Silva Lhamas<sup>1</sup>; Pedro Passos Mendes<sup>1</sup>; Adonis Moreira<sup>2</sup>; Oriël Tiago Kölln<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Agronomy, State University of Northern Paraná, UENP Brazil

<sup>2</sup>Brazilian Agricultural Research Corporation - EMBRAPA, Londrina, Brazil

\**oriel.kolln@uenp.edu.br*

Despite the presence of phosphorus (P) reserves in soils with a history of grain cropping, a large proportion of this nutrient occurs in unavailable or moderately available forms for plants, making phosphate fertilization essential to ensure high yields and the economic sustainability of soybean production. However, soybean responses to P application may vary according to soil conditions, meteorological factors, and crop management practices, highlighting the need for improved calibration of P fertilization rates. Therefore, this study aimed to evaluate soybean yield and profitability in response to phosphorus application over three consecutive growing seasons in the municipality of Bandeirantes, Paraná State, Brazil. The experiment began in the 2021/2022 growing season and was conducted using a randomized complete block design with four replications. The soil was classified as a dystrophic Red Latosol, typical of the region. The standard P rate was calculated according to the official fertilization and liming manual for the State of Paraná. Based on this recommendation, the following treatments were established: zero P, half of the standard rate, the standard rate, and 150% of the standard P rate. At the end of each season, soybean yield and profitability were evaluated as a function of P rates. Statistical analyses were performed using RStudio software. Residual normality was assessed using the Shapiro–Wilk test, homoscedasticity using the Breusch–Pagan test, coefficient significance using the t test, and model fit using the coefficient of determination ( $R^2$ ). Profitability was calculated using data from CONAB and CEPEA. Results showed that soybean response to phosphate fertilization varied among seasons, being significant in 2022/2023 under favorable rainfall conditions. In that season, profitability increased with increasing P rates. In other seasons, no significant responses were observed, and half of the recommended P rate consistently resulted in higher economic returns. The recalibration of phosphorus rates is essential to better meet crop requirements, particularly in soils with a history of fertilization. Moreover, the integration of agronomic and economic data contributes to more sustainable phosphorus use by minimizing nutrient losses and reducing environmental impacts.

**The authors acknowledge the (CAPES) for the scholarship granted to the first author (Process No. 88887.964902/2024-00); the Araucária Foundation for the scholarship PRD2023361000686; the State University of Northern Paraná (UENP); the Soil Fertilization and Fertility Research Group (GPAFS); and the University of Córdoba – UCO – Soil Science Unit**

---

## **GANADERÍA – sesiones orales**

---

## Evaluación de emisiones de gases de efecto invernadero y amoníaco en balsas de purín y mitigación mediante cubiertas flotantes

Miriam Cerrillo<sup>1\*</sup>, Laura Burgos<sup>1</sup>, Judith Hernández<sup>1</sup>, Miguel Moreno<sup>1</sup>, Noelia Ruiz<sup>1</sup>, Joan Noguerol<sup>1</sup>, August Bonmatí<sup>1</sup> y Francesc Prenafeta<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Sostenibilidad en Biosistemas, Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA), Torre Marimon, Caldes de Montbui (Barcelona), España

\*[miriam.cerrillo@irta.cat](mailto:miriam.cerrillo@irta.cat)

La gestión de los purines es una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y de amoníaco (NH<sub>3</sub>) en los sistemas ganaderos intensivos europeos, contribuyendo de forma significativa al impacto ambiental del sector. En particular, el almacenamiento del purín en balsas abiertas representa una etapa crítica en la que se producen pérdidas gaseosas relevantes, fuertemente influenciadas por las características del purín y por las condiciones climáticas. En este contexto, resulta necesario disponer de datos experimentales representativos y evaluar comparativamente la eficiencia de mitigación de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) para una gestión más sostenible de los recursos. El objetivo de este estudio es (i) establecer factores de emisión de referencia de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y NH<sub>3</sub> en balsas abiertas de purín bovino bajo condiciones mediterráneas, (ii) comparar diferentes metodologías de monitorización directa e indirecta, y (iii) evaluar el potencial de mitigación de una cubierta flotante basada en elementos plásticos. El estudio se está llevando a cabo en la Estación de Vacuno de Monells (EVAM-IRTA, Cataluña, España) durante el periodo 2024–2026. En una primera fase, se monitorizaron tres balsas con características diferenciadas: una balsa de purín de vacas no lactantes, una balsa de recepción previa a la separación sólido-líquido y una balsa que almacena la fracción líquida tras la separación. Las emisiones de NH<sub>3</sub> se estimaron mediante captadores pasivos ALPHA<sup>®</sup> combinados con modelización de dispersión inversa (Windtrax). En paralelo, las emisiones de GEI y NH<sub>3</sub> también se determinaron directamente con cámara dinámica acoplada a un analizador fotoacústico. De forma complementaria, se testó un sistema láser para la medida continua de NH<sub>3</sub> y CH<sub>4</sub> y se efectuaron análisis periódicos del purín para determinar los principales factores intrínsecos que condicionan las emisiones. Los resultados preliminares muestran factores de emisión coherentes con los valores reportados en la bibliografía para balsas descubiertas, con diferencias claras entre balsas asociadas al grado de degradabilidad de la materia orgánica, la formación de costra superficial y la temperatura. Los factores de emisión de NH<sub>3</sub> (media; mín–máx) para balsas descubiertas fueron: balsa de recepción, 0,054 (4,30×10<sup>-6</sup>–1,36) g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>; balsa de fracción líquida, 0,035 (2,32×10<sup>-5</sup>–3,08) g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>; y balsa de vacas no lactantes, 0,053 (3,08×10<sup>-6</sup>–0,93) g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. Los resultados obtenidos con cámara dinámica-fotoacústico presentan una buena correlación con los estimados mediante captadores pasivos ALPHA. En una segunda fase, iniciada en octubre de 2025, la balsa de recepción previa a la separación sólido-líquido fue cubierta con elementos flotantes esféricos. Los resultados iniciales apuntan a efectos heterogéneos dependientes de las condiciones meteorológicas; los datos adicionales serán determinantes para cuantificar la eficacia real de esta técnica y aportar información clave para el diseño de estrategias de mitigación en el marco de una economía más circular y eficiente en el uso de los recursos.

**Estudio financiado por el Fondo Climático, en el marco del proyecto Agroeconomía Circular, el Programa CERCA y el Grupo Consolidado de Investigación de Sostenibilidad en Biosistemas (ref. 2021 SGR 01568) de la Generalitat de Catalunya.**

## Efecto de diferentes regímenes de ventilación sobre la dinámica de nutrientes en camas compostadas de vacuno lechero

Xabier Díaz de Otálora<sup>1\*</sup>, Blanca Fajardo<sup>1</sup>, Carmen Cano<sup>2</sup>, Arantxa Villagrà<sup>2</sup>, Fernando Estellés<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ciencia y Tecnología Animal (ICTA), Universitat Politècnica de València (UPV), Valencia, España.

<sup>2</sup> Centro de Investigación y Tecnología Animal (CITA), Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), Segorbe, España.

\**xdiadeo@upv.es*

Las camas compostadas en sistemas de vacuno lechero están fuertemente condicionadas por las condiciones ambientales en las que se desarrollan. En contextos cálidos como el mediterráneo, la ventilación artificial puede desempeñar un papel clave en la dinámica de nutrientes de la cama, especialmente del nitrógeno (N) y el carbono (C). Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de distintos regímenes de ventilación sobre las propiedades fisicoquímicas de la cama y la disponibilidad de N y C en una explotación comercial de vacuno lechero del mediterráneo español. El estudio se llevó a cabo entre enero y marzo de 2025 en una explotación comercial situada en la provincia de Valencia. Durante este periodo se compararon tres estrategias de ventilación: (i) ausencia de ventilación mecánica, (ii) ventilación modulada en función de una consigna de temperatura y (iii) ventilación continua al 100 % de potencia durante una franja horaria fija. Para evaluar el efecto de estos tratamientos sobre la cama compostada, se realizaron ocho muestreos semanales en cuatro parques, tomando muestras compuestas tanto en superficie como en profundidad (15–20 cm). Los resultados mostraron temperaturas en profundidad persistentemente bajas en todos los tratamientos (16 °C), muy por debajo del rango óptimo para un compostaje activo (45–55 °C). Asimismo, se observaron concentraciones elevadas de nitrógeno (3 %) junto con contenidos medios de carbono (38 %), lo que dio lugar a relaciones C:N bajas (13:1), alejadas del rango considerado óptimo para un compostaje equilibrado (25:1-30:1). Estas condiciones comprometen la actividad microbiana de la cama, reduciendo la estabilización del C y alterando la dinámica de la relación C:N. En combinación con valores elevados de pH (>9) y la ausencia de una fase termófila efectiva, se limita la inmovilización microbiana del nitrógeno, manteniéndolo en formas más disponibles y reactivas. La ausencia de un compostaje activo bajo estas condiciones podría estar asociada con una modificación de las pérdidas de nitrógeno y a una menor estabilización del carbono, con posibles implicaciones en términos de emisiones de gases de efecto invernadero. En conjunto, los resultados indican que los regímenes de ventilación y las prácticas de manejo evaluadas no permitieron alcanzar condiciones adecuadas para un compostaje activo, condicionando la dinámica del carbono y el nitrógeno en la cama. Estos resultados ponen de relieve la necesidad de optimizar las estrategias de ventilación y el manejo de la cama en sistemas de vacuno lechero en climas mediterráneos.

**Este trabajo ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte Europa de la Unión Europea, en virtud del Acuerdo de Subvención n.º 101059609 (proyecto Re-Livestock)**

## Relación entre las emisiones de metano entérico reales y las ecuaciones Tier2 del IPCC aplicadas al vacuno lechero

S.N. Saez-Torillo<sup>1</sup>, M. Martínez-Álvarez<sup>1</sup>, A. García-Rodríguez<sup>2</sup>, I. Goiri<sup>2</sup>, A. Varsaki<sup>3</sup>, J.A. Jiménez-Montero<sup>4</sup>, O. González-Recio<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>Institute of Animal Science and Technology, Universitat Politècnica de València, Valencia, Spain;

<sup>2</sup>NEIKER-BRTA (Basque Research & Technology Alliance), Mendara, Spain;

<sup>3</sup>Confederación de Asociaciones de Frisona Española (CONAFE), Madrid, Spain; <sup>4</sup>Centro de Investigación y Formación Agrarias (CIFA), Muriedas, Spain; <sup>5\*</sup>The Roslin Institute and Royal (Dick) School of Veterinary Studies, Edinburgh, United Kingdom;

\* [oscar.gonzalezrecio@ed.ac.uk](mailto:oscar.gonzalezrecio@ed.ac.uk)

La mitigación del cambio climático y el énfasis creciente en la descarbonización del sector ganadero, en particular para el metano entérico (CH<sub>4</sub>), hacen necesario establecer nuevas estrategias para cumplir con este objetivo. Entre las estrategias consideradas está la selección genética, que constituye una alternativa potencialmente eficiente, permanente y acumulativa para alcanzarlo. La incorporación de caracteres relacionados con las emisiones de CH<sub>4</sub> entérico en los objetivos de selección del ganado lechero podría reducir sustancialmente las emisiones de CH<sub>4</sub>. La selección para la reducción de emisiones de CH<sub>4</sub> se enfrenta a importantes desafíos. Entre ellos, el registro rutinario de fenotipos de CH<sub>4</sub> en explotaciones comerciales sigue siendo limitado debido a restricciones logísticas y a los elevados costes asociados a las tecnologías de medición. La estimación de emisiones a través de las ecuaciones Tier 2 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) se ha propuesto como alternativa a las mediciones directas en estudios previos. El presente estudio tuvo como objetivo comparar los resultados de las ecuaciones Tier 2 con medidas reales tomadas en 6 granjas convencionales y ecológicas usando GreenFeeds. También se evaluó la tendencia genética de las emisiones de CH<sub>4</sub> debido a la selección de la raza Holstein. Los resultados mostraron que la selección genética aumentó las emisiones de CH<sub>4</sub> hasta aproximadamente principios del siglo XXI, a partir de ese momento, se han mantenido constantes, mientras que la producción lechera ha aumentado. Este podría provocar que las ecuaciones del IPCC no sean representativas de la población actual. El análisis estadístico mostró que los valores obtenidos con ecuaciones IPCC Tier 2 dependen de las asunciones en los parámetros y podrían sobrestimar o subestimar las emisiones hasta en un 20% en el vacuno lechero. El ranking de los animales a nivel fenotípico fue solo de 0.54 en correlación de Spearman. Por tanto, es necesario impulsar la implantación de sistemas de monitorización basados en mediciones directas en las poblaciones bajo selección genética. En cuanto a la comparación de sistemas tradicionales y ecológicos, las vacas manejadas bajo sistemas de producción ecológica presentaron menores emisiones absolutas de CH<sub>4</sub> medidas mediante GreenFeed, expresadas en g/día (303,43 ± 62,65 g/día) en comparación con las vacas en sistemas convencionales (412,89 ± 59,85 g/día), lo que equivale a una reducción del 28 %. Cuando se expresó en términos de intensidad de CH<sub>4</sub> (CH<sub>4</sub> por unidad de leche producida), el sistema ecológico mostró valores un 18 % superiores (13,82 ± 4,71 g CH<sub>4</sub>/kg de leche) en comparación con el sistema convencional (11,67 ± 3,38 g CH<sub>4</sub>/kg de leche). Las reducciones proyectadas derivadas de la mejora genética podrían llegar hasta un 24 % en la intensidad de CH<sub>4</sub> para el año 2050 y entre un 2 y un 5 % en las emisiones totales en un periodo de diez años, bajo condiciones de producción españolas.

**Estudio financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033/FEDER, UE (PID2022-136965OR-C31)**

## Estudio integral *in vitro*, *in vivo* y análisis de ciclo de vida para evaluar el uso de ensilado de subproducto de pepino y paja en la producción de corderos

Mahmoud Hassan<sup>1\*</sup>, Alejandro Belanche<sup>2</sup>, Nicholas Davison<sup>3</sup>, Manuel Romero-Huelva<sup>1</sup>, Laurence Smith<sup>3</sup>, David R. Yáñez-Ruiz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Estación Experimental del Zaidín (CSIC), Profesor Albareda, 1, Granada 18008, España

<sup>2</sup> Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos, Universidad de Zaragoza, Miguel Servet 177, Zaragoza 50013, España

<sup>3</sup> University of Reading, Reading RG6 6EU, Reino Unido

\*mahmoud.hassan@eez.csic.es

Mejorar la eficiencia y reducir los impactos ambientales plantea importantes desafíos para los sistemas ganaderos en España, en los que existen pocas alternativas viables a los forrajes convencionales. Este estudio evaluó el ensilado de subproducto pepino–paja (ENS) como forraje alternativo en comparación con el heno de avena (HEN) para la producción de corderos, utilizando un enfoque integrado que combinó estudios *in vitro*, *in vivo* y un análisis de ciclo de vida (ACV). En primer lugar, se llevó a cabo un estudio de fermentación *in vitro* en cultivos no renovados con sustitución de proporciones crecientes de concentrado por SIL o HAY. Tras dicha incubación se midieron los patrones de fermentación ruminal, así como la producción de gas y de CH<sub>4</sub> durante 144h. En segundo lugar, se realizó un ensayo *in vivo* de 12 semanas en una granja comercial con 450 ovejas Segureñas lactantes y 610 corderos, con el objetivo de evaluar el rendimiento productivo y el estado metabólico. Ambos experimentos siguieron un diseño completamente aleatorizado. Finalmente, se realizó un ACV de dicho ensayo *in vivo* aplicando la norma ISO 14044 y el kilo de cordero cebado como unidad funcional. Los resultados *in vitro* mostraron que la suplementación con ENS a un nivel de inclusión del 50% mantuvo una actividad fermentativa ruminal similar a la observada con una inclusión equivalente de HEN (en términos de producción de gas y ácidos grasos volátiles), sin embargo, el ENS promovió una mayor proporción de butirato (+13,3%) y redujo las emisiones de CH<sub>4</sub> (-17,3%). Los resultados *in vivo* indicaron que el ENS permitió un rendimiento animal comparable al del HEN, manteniéndose los metabolitos sanguíneos dentro de los rangos fisiológicos tanto en ovejas como en corderos, lo que indica un adecuado estado de salud. El ACV reveló que, bajo un escenario de asignación cero para el pepino (libre de cargas medioambientales), las emisiones de gases de efecto invernadero se redujeron en un 18% (9,50 vs 11,6 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg cordero), la ocupación del suelo en un 50% y el consumo de agua en un 70% en comparación con el HEN. Por tanto, el ENS se presenta como una estrategia viable para valorizar residuos hortícolas, mantener la productividad de los rumiantes y reducir el impacto ambiental de los sistemas de producción de corderos en un sistema Mediterráneo.

**Este trabajo ha sido financiado por la Comisión Europea, Programa H2020, proyecto MASTER (nº 81836) y proyecto ERANET-INTEGRITY. Mahmoud fue financiado mediante un contrato predoctoral de la Junta de Andalucía (PREDOC-2021\_01716).**

## Combinación de ajo, canela y orégano: efectos sinérgicos sobre la fermentación ruminal y la reducción del metano *in vitro*

Amina Hind Chekikene<sup>1</sup>, Jennifer Muñoz-Grein<sup>1</sup>, Mélanie Mireaux<sup>2</sup>, David R. Yáñez-Ruiz<sup>3</sup> y Alejandro Belanche<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup> Dep. Producción Animal y Ciencia de los Alimentos, Universidad de Zaragoza Miguel Servet 177, 50013, Zaragoza, España.

<sup>2</sup> CCPA France, ZA Bois de Teillay, 35150, Janzé, Francia

<sup>3</sup> Estación Experimental del Zaidín (CSIC), Profesor Albareda 1, 18008, Granada, España.

\*belanche@unizar.es

La reducción del impacto ambiental constituye un objetivo clave en la producción de rumiantes. La suplementación nutricional con fito-compuestos representa una estrategia prometedora para reducir las emisiones entéricas de metano (CH<sub>4</sub>) y mejorar la productividad. Sin embargo, a pesar de que a mayoría de los aditivos se comercializan como combinaciones de fito-compuestos, el estudio de las interacciones entre dichos aditivos es limitada. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos del extracto de ajo (G), aceite esencial de canela (C) y aceite de orégano (O), y sus combinaciones, sobre la producción de metano y la fermentación ruminal *in vitro* utilizando líquido ruminal bovino. En un primer experimento dosis-respuesta se evaluó la suplementación con 4 dosis crecientes de extracto de ajo (0-0.12 g/L), aceite de canela (0-2 g/L) o aceite de orégano (0-2 g/L) para identificar las dosis óptimas tras 24h de incubación. Los resultados mostraron que el extracto de ajo redujo linealmente las emisiones de CH<sub>4</sub> (hasta un 57%) como fruto de una mayor proporción de propionato y butirato. Además, el extracto de ajo no inhibió la fermentación ruminal. La suplementación con dosis altas de aceite de canela o aceite de orégano también disminuyeron las emisiones de metano entre un 90 y 98%, pero a costa de la una inhibición de la fermentación ruminal. En el segundo experimento se evaluaron 11 combinaciones diferentes de dichos aditivos utilizando las dosis óptimas seleccionadas y realizando mediciones tanto tras 24h como tras 5 días de incubación con pases sucesivos. La naturaleza de las interacciones entre aditivos (sinergia, aditividad o antagonismo) fue estudiada comparando el efecto esperado frente al observado mediante ANOVA e Índice BLISS. Los resultados mostraron que las mezclas que incluyen ajo (G50-C50, G50-O50, G75-C12-O12) redujeron la producción de metano en más de un 70%, manteniendo una fermentación ruminal activa y un perfil de AGV favorable. El índice de Bliss confirmó la presencia de interacciones sinérgicas para las combinaciones de dichos aditivos, en lo referido a la reducción de CH<sub>4</sub> y el aumento del propionato. Dichos efectos positivos se mantuvieron tras 5 días de incubación. En conclusión, la suplementación con extracto de ajo representa una estrategia de mitigación prometedora, si bien se precisa de estudios *in vivo* para determinar su efectividad y posibles efectos sobre la palatabilidad y calidad del producto. Los efectos simbióticos derivados de la combinación del extracto de ajo con aceites esenciales permitieron alcanzar un mayor potencial de mitigación y reducir la dosis utilizada. El uso combinado del ANOVA y del índice de Bliss resultó eficaz para identificar la naturaleza de dichas interacciones entre aditivos.

**Este trabajo ha contado con el apoyo de CCPA Francia y la Agencia Estatal de Investigación (CNS2024-154467).**

## Estudio del uso de taninos, saponinas y calostro bovino para mejorar la digestibilidad y reducir emisiones en corderos mediante el sistema RUSITEC

J. Muñoz-Grein<sup>1</sup>, A. Hind Checkikene<sup>1</sup>, M. Fondevila<sup>1</sup>, M.A. Latorre<sup>1</sup>, A. Belanche<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos, Universidad de Zaragoza, Miguel Servet 177, 50013, Zaragoza, España.

\* [belanche@unizar.es](mailto:belanche@unizar.es)

Al destete, los rumiantes presentan un desarrollo microbiológico y funcional limitado en el rumen, lo que ofrece una oportunidad para modular tempranamente la fermentación ruminal y reducir el metano mediante estrategias nutricionales. El objetivo de este estudio *in vitro* fue evaluar el efecto de la suplementación dietética con taninos, saponinas y calostro bovino sobre la fermentación ruminal, la digestibilidad de los nutrientes y las emisiones de CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. Para ello se emplearon fermentadores semicontinuos (RUSITEC) con líquido ruminal de 4 corderos destetados, durante 16 días, empleando 30 g MS/d de un sustrato rico en concentrado (relación forraje:concentrado 8:92), suplementado al 3% de la materia seca con taninos (TAN; *Silvafeed ByPro*), saponinas (SAP; *Silvafeed MultiSap*) o calostro bovino en polvo (CBP; *Phytobiotics*), comparándose frente a un tratamiento control sin aditivos (CTL). Tras 9 días de estabilización del sistema, se determinó la concentración de protozoos, la digestibilidad de los nutrientes y las emisiones de gases durante 3 días consecutivos.

El pH ruminal se mantuvo estable entre los tratamientos, con un valor medio de 6.36±0.08. La suplementación con TAN redujo la digestibilidad de materia seca (-3.8%,  $P = 0.026$ ), materia orgánica (-4.2%,  $P = 0.026$ ) y proteína bruta (-16%,  $P = 0.008$ ), sin perjudicar la digestibilidad de la fibra ni del extracto etéreo. En cuanto a las emisiones de gases, la suplementación con TAN no modificó significativamente la producción de gas, pero redujo el porcentaje de CH<sub>4</sub> en dicho gas (-19%,  $P = 0.001$ ), indicando una reducción sustancial en el volumen de CH<sub>4</sub> producido (-28%,  $P < 0.001$ ). La suplementación con SAP ejerció un efecto anti-protozoario (-27%;  $P = 0.010$ ), pero no afectó a la digestibilidad ni a las emisiones de metano, posiblemente debido a la baja concentración de protozoos registrada en todos los tratamientos (1098±435 células/ml). Por contrario, la suplementación con CBP incrementó la digestibilidad de la proteína (+10%,  $P = 0.008$ ) y redujo la concentración de protozoos (-15%;  $P = 0.010$ ), sin afectar a las emisiones de CH<sub>4</sub>. La ausencia de diferencias entre tratamientos en la producción de H<sub>2</sub> sugiere que ninguno actuó como sumidero alternativo de electrones.

En conclusión, la suplementación con TAN representó una estrategia eficaz para reducir las emisiones de metano, si bien ello puede acarrear una ligera reducción en la digestibilidad de los nutrientes. Por contrario, la suplementación con CBP permitió incrementar la digestibilidad de la proteína sin afectar a las emisiones. Estos resultados indican que ambos aditivos constituyen estrategias prometedoras para modular la fermentación ruminal durante el destete, si bien se requieren estudios *in vivo* para confirmar estos efectos.

**Este trabajo ha sido financiado por Agencia Estatal de Investigación (proyecto PID2021-123206OB-I00, contrato FPI PRE2022-101806)**

---

## **GANADERÍA – sesiones flash-talk**

---

## herdr: Una herramienta de código abierto para el cálculo de emisiones y uso de suelo en sistemas ganaderos

Juan Carlos Báez\*, Jon Sampedro<sup>1,2</sup>, Guillermo Pardo<sup>1</sup>, Agustín del Prado<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Basque Centre for Climate Change – BC3, 48940 Leioa, Spain

<sup>2</sup>Ikerbasque – Basque Foundation for Science, 48009 Bilbao, Spain

\*[juancarlos.baez@bc3research.org](mailto:juancarlos.baez@bc3research.org)

El sector ganadero es uno de los principales contribuyentes a las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI), especialmente metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). A pesar de la importancia de mitigar este impacto, los investigadores a menudo se enfrentan a la dificultad de traducir censos animales en inventarios de emisiones precisos sin recurrir a simplificaciones excesivas. Bajo este contexto, se presenta herdr, una herramienta de código abierto (open-source) en R que ofrece una solución flexible y transparente para el cálculo avanzado de emisiones y requerimientos de superficie. La herramienta requiere únicamente datos básicos de censo y manejo para ejecutar un flujo de cálculo mecanístico basado en el Refinamiento 2019 del IPCC (Nivel 2). A partir de estos datos, herdr realiza automáticamente las siguientes tareas:

1. Estimación energética: Calcula los requerimientos de energía neta y la ingesta de materia seca para cada categoría animal.
2. Balances de emisiones: Determina las emisiones de CH<sub>4</sub> (entérico y estiércol) y los flujos de nitrógeno que derivan en emisiones de N<sub>2</sub>O directas e indirectas.
3. Uso de suelo: Traduce la demanda nutricional del rebaño en necesidades de superficie agrícola según la dieta y los rendimientos locales.

La flexibilidad de herdr permite al usuario simular cambios en la productividad o en las estrategias de alimentación y manejo, y cuantificar su impacto inmediato en la huella de carbono. Además, el paquete está diseñado para integrarse directamente en flujos de trabajo con el Global Change Analysis Model (GCAM), facilitando la conexión entre los datos de campo y los modelos de evaluación integrada a gran escala. Gracias a su validación mediante tests automáticos (89% de cobertura), herdr garantiza que la modelización climática sea reproducible, robusta y accesible para la comunidad científica.

**Estudio financiado por el Gobierno Vasco, Programa Ikertalent 2024 [Transiciones agroalimentarias en Euskadi e implicaciones en ecosistemas terrestres] y el proyecto VACUNCLIM PID2022-137631OB-I00 (Proyectos de Generación de Conocimiento 2022, Investigación Orientada Tipo B, Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades)**

## Estudio del efecto del método de conservación del subproducto de alcachofa (*Cynara scolymus*) en la fermentación ruminal *in vitro*.

Celia Conesa<sup>1</sup>, Margalida Joy<sup>1\*</sup>, Mireia Blanco<sup>1</sup>, Alba Civera<sup>1</sup>, Andrés Domínguez<sup>1</sup>, Sandra Lobon<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, CITA - IA2, Av. Montañana 930, 50059 Zaragoza, Spain

\*mjoy@cita-aragon.es

La agroindustria de la alcachofa (*Cynara scolymus*) genera grandes volúmenes de residuo vegetal, principalmente hojas y tallos, que pueden ser aprovechados en la alimentación animal. Sin embargo, su elevado contenido en humedad obliga a aplicar métodos de conservación, que pueden influir en su calidad nutritiva y en su fermentación ruminal. El objetivo del presente estudio fue evaluar, tomando como referencia el producto fresco preservado mediante liofilización, el efecto de dos métodos de conservación del subproducto de alcachofa (desechado y ensilado) sobre su composición química, incluyendo taninos condensados y polifenoles, y su fermentación ruminal *in vitro*. Se dividió la muestra en tres partes: la primera fue congelada inmediatamente y liofilizada, sobre la segunda se llevó a cabo una desecación en estufa ventilada a 45 °C y la última fracción fue ensilada durante 90 días en ausencia de aire y luz. Se analizaron los contenidos en proteína bruta, fibras, grasa bruta, taninos condensados y polifenoles totales. El ensayo *in vitro* se llevó a cabo durante 48 h utilizando el sistema ANKOM (Ankom Technology Corporation, EE.UU.). Las muestras se incubaron por triplicado en tres tandas diferentes con solución tamponada de saliva artificial: líquido ruminal de 4 moruecos canulados (2:1 v/v). Se determinó: producción total de gas, dinámica de producción de gas (potencial producción de gas, A, y tasa de producción, c), producción de metano, digestibilidad de materia orgánica (DMO), ácidos grasos volátiles (AGV) totales y la proporción de los AGV individuales. Los datos se analizaron estadísticamente mediante PROC MIXED de R, considerando la dieta como efecto fijo y la tanda como efecto aleatorio. Los tratamientos se compararon usando el método de Tukey (P<0,05). La composición química varió muy poco entre tratamientos, destacando únicamente un mayor contenido en polifenoles en el subproducto ensilado. En cuanto a los parámetros de la fermentación, no se observó efecto sobre la producción de gas (P>0,05), pero sí sobre la producción de metano, que fue menor en el subproducto fresco frente al desecado y el ensilado (50,5; 54,2 y 54,7 mL CH<sub>4</sub>/g MO, respectivamente; P<0,001). La DMO fue inferior en el subproducto desecado (71,2 %). Los AGV totales no dependieron del método de conservación, pero se observaron diferencias en algunos AGV individuales (P<0,001). El silo presentó menores valores de ácido acético que el resto (P<0,05), mayor propiónico que el desecado (P<0,05) y mayor isobutírico, butírico, isovalérico y valérico que el fresco (P<0,05). En conjunto, estos resultados muestran que el método de conservación influye en la fermentación *in vitro*, siendo el subproducto fresco más fermentable y con menores emisiones de metano. El desecado presenta menor digestibilidad, y el silo presenta características intermedias con un perfil de fermentación más glucogénico.

**Estudio financiado por el proyecto FITE 2024 PRESA-Te (P25\_061\_FIT)**

## Subproductos hortícolas: su impacto en la fermentación ruminal y la producción de metano *in vitro*.

Celia Conesa<sup>1\*</sup>, Margalida Joy<sup>1</sup>, Mireia Blanco<sup>1</sup>, Andrés Domínguez<sup>1</sup>, Sandra Lobon<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, CITA - IA2, Av. Montañana 930, 50059 Zaragoza, Spain

\* [cconesa@cita-aragon.es](mailto:cconesa@cita-aragon.es)

La utilización de subproductos hortícolas en alimentación animal es una estrategia eficaz para reducir la generación de residuos agroalimentarios, mejorar la sostenibilidad ganadera y disminuir los costes de la alimentación. No obstante, su incorporación en dietas para rumiantes requiere conocer su fermentación ruminal. El presente estudio evaluó la fermentación ruminal *in vitro* de cinco subproductos hortícolas frescos: tallos y hojas de alcachofa (*Cynara scolymus*), piel y pedúnculo de pimiento (*Capsicum annuum*), peladuras de cebolla (*Allium cepa*), piel y pedúnculo de berenjena (*Solanum melongena*) y piel y trozos de patata (*Solanum tuberosum*). Las muestras fueron caracterizadas químicamente (proteína bruta (PB), fibras neutro detergente (FND), ácido detergente (FAD), lignina ácido detergente (LAD) y grasa bruta (GB)). Se realizó un ensayo *in vitro* de fermentación utilizando el sistema ANKOM durante 48 h. Las muestras se incubaron por triplicado en tres tandas con solución tamponada: líquido ruminal de 4 moruecos canulados (2:1 v/v). Se determinó la producción total de gas, la cinética de fermentación (potencial producción de gas, A; tasa de producción, c), la producción de metano, la digestibilidad de materia seca (DMS) y los ácidos grasos volátiles (AGV). Los resultados se analizaron estadísticamente mediante PROC MIXED de R, considerando el tipo de subproducto como efecto fijo y la tanda como efecto aleatorio. Los subproductos mostraron diferencias en su composición química que afectaron a su fermentación *in vitro*, tanto a la producción de gas ( $P < 0,05$ ) y dinámica de producción ( $P < 0,001$ ) como a DMS y AGV ( $P < 0,001$ ). La patata, con el menor contenido en FND, presentó las mayores A (364,5 mL/g MS), DMS (98,3 %), producción de AGV (136 mM) y la menor c (0,065 mL/h), lo que indica una fermentación lenta pero extensa. Por el contrario, el subproducto de alcachofa, con alto contenido de FND, mostró los valores más bajos de DMS (79%) y AGV (113 mM), junto con una reducida c (0,099 mL/h). Los subproductos de berenjena y cebolla presentaron elevadas A (325 y 329 mL/g MS), c (0,14 y 0,12 mL/h) y DMS (96,7 y 95,4%). El subproducto de pimiento, con alto contenido en FND (41%), LAD (7%) y PB (19,5%), mostró la c más alta (0,15 mL/h). La producción de metano difirió según el subproducto ( $P < 0,001$ ), siendo mayor en los subproductos de cebolla y berenjena (62,8 y 60,5 mL CH<sub>4</sub>/g MO, respectivamente), seguidos de los de pimiento y patata (56,1 y 55,6 mL CH<sub>4</sub>/g MO, respectivamente), mientras que los de alcachofa presentaron las menores emisiones (50,4 mL CH<sub>4</sub>/g MO). Los resultados muestran que cada subproducto presenta un patrón fermentativo propio, determinado principalmente por su fracción fibrosa. No obstante, estos subproductos requieren validación *in vivo* para confirmar sus efectos sobre la salud ruminal y el rendimiento productivo antes de recomendar su inclusión definitiva.

Estudio financiado por el proyecto FITE 2024 PRESA-Te (P25\_061\_FIT)

## **FOTOPUR. Sistema innovador para reducción de emisiones en balsas de purines con aprovechamiento fotovoltaico**

Cristina Escriche-Martínez<sup>1,2\*</sup>, Javier Carroquino<sup>2</sup>, Marcos Agudo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad San Jorge, Zaragoza, España

<sup>2</sup> Intergia energía sostenible, SL, Zaragoza, España

\**cristina.escriche@intergia.es*

El sector ganadero constituye una de las principales fuentes de emisiones de amoníaco (NH<sub>3</sub>) a la atmósfera y es un contribuyente relevante al cambio climático, debido a la liberación de gases de efecto invernadero como el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). En particular, la gestión de los purines generados en las explotaciones porcinas es responsable de una parte significativa de estas emisiones, con impactos negativos tanto en la calidad del aire como en la salud humana. Se han identificado mediante teledetección satelital elevadas concentraciones de amoníaco atmosférico en Europa, situando a España entre los países con mayores niveles de emisión, en gran medida asociados a la elevada intensidad de su actividad porcina. Este contexto ha llevado a la Unión Europea a establecer límites estrictos de emisión de gases contaminantes, entre ellos el amoníaco, para los países miembros. En el caso de España, estos límites han sido superados durante varios años. Como respuesta normativa, se ha establecido la obligatoriedad de reducir las emisiones de amoníaco provenientes de la ganadería mediante el cubrimiento de las balsas de purines. En este marco se han conformado el Grupo Operativo FOTOPUR y el proyecto del mismo nombre, para el desarrollo de un sistema innovador para el cubrimiento de las balsas de purines en granjas porcinas, aprovechando su superficie para generación fotovoltaica. En primer lugar, se realizó un análisis del estado del arte sobre las emisiones en granjas porcinas, las soluciones comerciales de cubrimiento de balsas y la tecnología de fotovoltaica flotante en cuerpos de agua. En segundo lugar, se definieron los requisitos técnicos y estructurales necesarios para garantizar la resistencia, durabilidad y funcionalidad del sistema en un medio corrosivo como es la balsa, así como la seguridad durante las operaciones de montaje y mantenimiento. Como resultado, se han diseñado dos soluciones diferenciadas: un sistema basado en una tecnología comercial de fotovoltaica flotante y un sistema innovador específico para balsas de purines, que combina una plataforma flotante modular con una estructura metálica de soporte para los paneles fotovoltaicos. Ambos sistemas se han implementado como prototipos demostrativos en dos granjas porcinas de diferente tipo: una granja de madres situada en la provincia de Zamora y una de cebo en la provincia de Zaragoza. La evaluación del potencial de reducción de emisiones se está realizando mediante el protocolo VERA de medición con cámara dinámica, mientras que el rendimiento fotovoltaico se analiza a partir de los datos proporcionados por los inversores. De forma complementaria, se está llevando a cabo un análisis del impacto socioeconómico y medioambiental de las soluciones propuestas en el entorno de las explotaciones y en el conjunto del sector porcino.

**Estudio financiado por el Programa Nacional de Desarrollo Rural 2014-2020, con fondos de la Unión Europea, a través del Fondo NextGenerationEU.**

## La fermentación de la torta de palmiste con *Pleurotus ostreatus* mejora la degradabilidad *in vitro* de las fracciones fibrosas de forrajes tropicales y reduce la producción de metano

Aldo Jesús Ibarra-Rondón<sup>1\*</sup>, Pedro José Fragoso-Castilla<sup>1</sup>, Luís Antonio Rubiano-Orozco<sup>1</sup>, Dinary Eloisa Durán-Sequeda<sup>2</sup>, Rolando Barahona-Rosales<sup>3</sup>, José Edwin Mojica-Rodríguez<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Grupo de investigación Parasitología Agroecología Milenio, Departamento de Microbiología, Universidad Popular del Cesar, 200004 Valledupar, Colombia.

<sup>2</sup> Grupo de investigación Biotecnología y Genotoxicidad Ambiental, Departamento de Microbiología, Universidad Popular del Cesar, 200004 Valledupar, Colombia.

<sup>3</sup> Grupo de investigación Interacciones Nutricionales, Metabólicas y Reproductivas En Bovinos, Departamento de Producción Animal, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, 050034 Medellín, Colombia.

<sup>4</sup> Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), 202050 Agustín Codazzi, Colombia.

\*aldoibarra@unicesar.edu.co

Los residuos lignocelulósicos agroindustriales pueden bioconvertirse en biomasa fúngica y utilizarse como alimento alternativo para rumiantes, ofreciendo un potencial para reducir las emisiones de metano ruminal (CH<sub>4</sub>). Este estudio evaluó las mejoras en la composición nutricional de la torta de palmiste fermentada con *Pleurotus ostreatus* (TPF), así como su efecto sobre los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* y la producción de metano en dietas para rumiantes basadas en *Megathyrus maximus*, con inclusión de TPF y/o arbustos forrajeros (*Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia*). El pretratamiento biológico de la torta de palmiste redujo significativamente ( $p < 0,05$ ) los contenidos de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina en 29 %, 20,5 % y 46,6 %, respectivamente, mientras que el contenido de proteína cruda (PC) aumentó en 69,6 %. La inclusión de TPF y arbustos forrajeros mejoró significativamente ( $p < 0,05$ ) la degradabilidad de la materia seca (DMS), la degradabilidad de la FDN (FDND), la degradabilidad de la FDA (FDAD) y la degradabilidad de la PC (PCD), con incrementos entre 32–34 %, 10,9–23,8 %, 25,7–27,5 % y 11,6–30,5 %, respectivamente. La producción de acetato disminuyó, mientras que la producción de propionato aumentó ( $p < 0,05$ ), lo que condujo a una menor relación acetato:propionato (A:P) en las dietas basadas en TPF. La producción total de CH<sub>4</sub>, el CH<sub>4</sub> por gramo de materia seca incubada y el CH<sub>4</sub> por gramo de materia seca degradada disminuyeron en 15,0–24,3 %, 15,6–24,9 % y 27,3–35,9 %, respectivamente. En conclusión, la combinación de TPF y arbustos forrajeros tropicales en dietas para rumiantes mejora la degradabilidad de la fibra y contribuye a la mitigación del metano bajo condiciones tropicales.

## Sinergias entre la huella hídrica y la mitigación de emisiones en el vacuno de carne en España

Carolina Márquez<sup>1\*</sup>, Agustín del Prado<sup>1,2</sup>, Guillermo Pardo<sup>1</sup>, Fernando Estellés<sup>3</sup>, Xabier Díaz de Otálora<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Basque Centre for Climate Change (BC3), Bilbao, España

<sup>2</sup> Ikerbasque – Basque Foundation for Science, 48009 Bilbao, España

<sup>3</sup> Universitat Politècnica de València (UPV), Valencia, España

\**carolina.marquez@bc3research.org*

La evaluación de la sostenibilidad en el sector ganadero se beneficia del análisis de las interrelaciones entre el uso de recursos y los ciclos biogeoquímicos. Mientras que en los sistemas de cebo o intensivos el cálculo de indicadores suele apoyarse en registros directos, el subsector de las vacas nodrizas en extensivo presenta una menor disponibilidad de datos detallados que vinculen el manejo con el entorno. Esta falta de información no solo afecta a la precisión de la huella hídrica (HH), sino que también dificulta la estimación de parámetros relacionados con el ciclo del nitrógeno (N) y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Por ello, resulta de interés explorar cómo los indicadores hídricos se relacionan con factores como las emisiones de N<sub>2</sub>O o el comportamiento del carbono en el suelo, condicionados por la meteorología y las características locales. El objetivo de este trabajo es cuantificar la HH del vacuno de carne en España, con énfasis en el sistema de nodrizas, y analizar su utilidad como base para estimar parámetros de mitigación. Se busca integrar datos de manejo con variables biofísicas para observar la conexión entre la gestión hídrica, la productividad de los pastos y las dinámicas del ciclo del N y los GEI en diferentes sistemas productivos. Para ello, el estudio analiza 30 explotaciones representativas: 25 de vacas nodrizas (estratificadas en dehesa, montaña y España húmeda) y 5 cebaderos. La metodología se integra en dos fases: primero, la realización de encuestas directas para obtener datos de manejo, censos y dietas. Segunda, el uso de la plataforma Google Earth Engine (GEE) para extraer, mediante teledetección satelital, variables de alta resolución como la evapotranspiración (ET) y el índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Estos parámetros permiten caracterizar tanto la HH como las condiciones de biomasa y humedad del suelo, vinculando la información de campo con la respuesta ambiental captada por satélite para obtener datos ajustados a la realidad de cada ubicación. Se espera que este enfoque permita identificar posibles sinergias entre la eficiencia hídrica y la mitigación de GEI. Los resultados proporcionarán una base técnica para entender cómo el manejo de la granja influye en el ciclo del agua y, simultáneamente, en las variables que determinan las emisiones de N<sub>2</sub>O, huella de piensos y forrajes producidos en granja y comprados y la lixiviación de nitratos, ofreciendo datos ajustados a las peculiaridades de los sistemas vacunos españoles.

**Estudio financiado por Provacuno y el proyecto VACUNCLIM PID2022-137631OB-I00 (Proyectos de Generación de Conocimiento 2022, Investigación Orientada Tipo B, Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades).**

## **Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero tras la aplicación de biochar en la cama de los animales**

Gerardo Moreno<sup>1\*</sup>, María Vivas<sup>1</sup>, Víctor Rolo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Forestal, INDEHESA, Universidad de Extremadura, Plasencia, España

\**gmoreno@unex.es*

La ganadería es una de las fuentes principales de gases de efecto invernadero (GEI) en la cadena agroalimentaria. Entre los componentes que más contribuyen a estas emisiones está el estiércol, tanto en la fase producción como en su manejo posterior. El estiércol es además una fuente importante de otros contaminantes como el amoníaco o la contaminación por lixiviados de nitratos. El objetivo de este trabajo es evaluar la reducción de la emisión de GEIs y amoníaco desde el estiércol producido en la dehesa ibérica mediante la adicción de biochar bien en la cama de los animales bien en la pila de estiércol, y posterior aplicación al suelo en siembras de mejora de pastos. Los resultados muestran que el biocarbón producido en la dehesa es eficaz para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y NH<sub>3</sub> en la fase de cama. Además, la cama se mantuvo más seca, los animales jóvenes rindieron mejor y el ganadero ahorró dinero (paja). El biocarbón aplicado directamente como cubierta sobre la pila de estiércol también contribuye a reducir las emisiones de GEI y NH<sub>3</sub>, pero no tanto como en la fase de cama. Por último, el biocarbón como enmienda para pastos tuvo efectos positivos en términos de producción de pasto, fertilidad del suelo y secuestro de carbono en el suelo. En resumen, la conversión de los residuos de biomasa en biochar y su posterior uso en camas para animales es una inversión que mejora el confort y la salud de los animales, optimiza la gestión de residuos, reduce las emisiones de GEI a nivel de la explotación y produce un subproducto valioso para la agricultura, cerrando un ciclo sostenible de nutrientes y proporcionando un buen ejemplo de economía verde y circular. En un futuro próximo, este biocarbón también podría comercializarse como crédito de carbono, lo que proporcionaría unos ingresos adicionales a los agricultores.

**Este estudio es parte del proyecto RELIVESTOCK financiado por el programa HORIZON EUROPE (Ref 101059609)**

## Estudio de la colonización microbiana del aparato digestivo de terneros por arqueas metanogénicas desde el nacimiento

Inés Rivelli, Manuel Romero-Huelva, Mahmoud Hassan, David R. Yáñez-Ruiz\*

Estación Experimental del Zaidín (CSIC), Profesor Albareda, 1, Granada

\* [david.yanez@eez.csic.es](mailto:david.yanez@eez.csic.es)

Las arqueas metanogénicas son los microorganismos responsables de la producción de metano (CH<sub>4</sub>) entérico en el aparato digestivo de los rumiantes, fundamentalmente en el rumen y en menor medida en el ciego y el colon. Recientemente se ha sugerido que la modulación de esta población en las primeras semanas de vida representa una estrategia prometedora de reducción de la producción de CH<sub>4</sub> entérico, puesto que en esa ventana de oportunidad el ecosistema tiene cierta plasticidad, lo que permitiría obtener cambios que perduren en la vida adulta del animal. Estas estrategias incluyen fundamentalmente el uso de inhibidores de las arqueas o una pauta de vacunación que promueva una respuesta inmune frente a la presencia de arqueas en el tracto digestivo. Sin embargo, para poder desarrollar alguna de estas estrategias es necesario conocer en detalle el proceso de colonización microbiana del aparato digestivo, que fue el objetivo de este trabajo. Para ello se emplearon 21 terneros de raza frisona de una ganadería lechera de la provincia de Granada. Se sacrificaron 3 terneros a la edad de 0, 3, 7, 14, 21, 35 y 55 días. Tras el sacrificio se recogieron muestras de contenido digestivo y epitelial de la boca, rumen, yeyuno y ciego. También se recogieron muestras de la madre de cada ternero de la vagina, calostro, y heces y del ambiente cercano en los corrales donde se criaban los terneros (cama, agua de bebida, lactoreemplazante y concentrado). Las muestras se emplearon para extracción de ADN y secuenciación por técnica metagenómica 'shotgun' y posterior análisis taxonómico y funcional de la población de procariotas y eucariotas. Los resultados muestran que el rumen está colonizado desde el nacimiento por arqueas metanogénicas con de la familia *Maethanobacteriaceae* y posteriormente, en la tercera semana de vida por especies de la familia *Methanomethylphylaceae*, ambas con actividad hidrogenotrofa. El resto de secciones del aparato digestivo requieren 2 semanas para ser colonizados. La diversidad de la comunidad de arqueas aumenta con la edad, sobre todo cuando el animal comienza a ingerir alimento sólido. El estudio de la diversidad B muestra la cercanía filogenética entre las poblaciones microbianas del rumen en desarrollo y las de la vagina y el calostro de la madre. Los resultados de este trabajo sugieren que cualquier intervención para modular la colonización de la población de arqueas en el digestivo de terneros requiere aplicarse desde el nacimiento o incluso antes para ejercer un efecto también sobre la madre como fuente principal de transmisión microbiana.

## Estudio de la huella de carbono y medidas de reducción en granjas de vacuno de leche de España

Manuel Romero-Huelva<sup>1</sup>, Luis Antonio Díaz<sup>2</sup>, Pablo Colmenero<sup>2</sup>, David Barba<sup>2</sup>, Enrique González<sup>2</sup>, David R. Yáñez-Ruiz<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Estación Experimental del Zaidín (CSIC), Profesor Albareda, 1, Granada

<sup>2</sup> Lactalis Compras y Suministros, Lugo España

\* [david.yanez@eez.csic.es](mailto:david.yanez@eez.csic.es)

Los esfuerzos del sector ganadero en reducir las emisiones de GEI se ven frecuentemente dificultados por la complejidad de la recogida y procesado de los datos de granja para poder obtener valores que reflejen la realidad de cada explotación que permitan identificar estrategias claras de actuación para cada tipología de producción. El grupo de Producción Sostenible de Rumiantes de la Estación Experimental del Zaidín (CSIC) y Lactalis España lleva trabajando un año en el análisis de la huella de carbono de más de 10000 granjas de vacuno lechero de toda España, incluyendo ganadería que operan en sistemas convencional (estabulado y pastoreo) y ecológico. El objetivo es desarrollar una sistemática de recogida y procesado de datos en granja para posteriormente emplear la herramienta 'Cool Farm Tool' en el cálculo de la huella de cada explotación. Las fuentes de emisión consideradas son producción de alimentos, fermentación entérica, gestión de estiércol, fertilizantes y suelo, energía y transporte y secuestro de carbono. Se han elegido 18 ganaderías piloto que representan la variedad de sistemas de explotación para un estudio más detallado de las fuentes de datos. Las dificultades más importantes se han encontrado en la estimación ajustada de la ingesta de materia seca de cada animal para el cálculo de dos de las fuentes de emisiones más relevantes (producción de alimentos y fermentación entérica). Esto es especialmente complejo en sistemas que incluyen pastoreo en algún momento del año. Durante el workshop se presentarán la variación en las fuentes de emisión en distintos sistemas y las posibles vías de mitigación que pueden tener más impacto en el corto y medio plazo.

## 1750 como referencia preindustrial en la ganadería.

Rubén Serrano-Zulueta<sup>1\*</sup>, Guillermo Pardo<sup>1</sup>, Agustín del Prado<sup>1,2</sup>, Pablo Manzano<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Basque Centre for Climate Change (BC3), Leioa, Bizkaia, España

<sup>2</sup> Ikerbasque—Basque Foundation of Science, Bilbao, España

\*[ruben.serrano@bc3research.org](mailto:ruben.serrano@bc3research.org)

Los planes de mitigación necesitan estados de referencia, tanto para entender el punto de partida, como para fijar los objetivos y la hoja de ruta de las acciones. En el contexto de la ganadería extensiva, estas referencias están ampliamente discutida por la integración de esta actividad en los ecosistemas desde el neolítico, considerándose por ello una actividad seminatural. Así pues, son muchos los escenarios que pueden utilizarse como referencia. Una de las referencias más utilizadas en mitigación es la preindustrial, en el que se asume una influencia antrópica negligible en relación a la actual. Sin embargo, entender la magnitud de las sociedades preindustriales es complejo por la falta de fuentes de información cuantitativas en la época. España es una *rara avis* por dos censos ganaderos preindustriales, validados historiográficamente como confiables para los estándares de la época. Estos son el censo del Marqués de Ensenada (1752) y el Censo de Ganadería de 1865. Partiendo de estos censos, hemos desarrollado una metodología que nos ha permitido: I) estimar la densidad ganadera para el año 1752 en España, II) imaginar los sistemas ganaderos predominantes en esta época, III) desagregar sus fuentes de alimentación en tipologías entre pasto, subproductos y cultivos, IV) inferir las emisiones entéricas derivadas de la ganadería en esta época y V) comparar el escenario preindustrial como referencia respecto al presente. Conceptualmente, la metodología está basada en el modelo GLEAM de la FAO, aunque con refinamientos adaptados a la realidad de la España de la época. Para ello, además de estos censos, hemos recopilado otras fuentes documentales, como el censo de Floridablanca, documentos del Ministerio de Fomento de finales del siglo XVIII, así como artículos propios previos y otros documentos históricos para validar los resultados. Este tipo de metodologías, si bien cuentan con una elevadísima incertidumbre, nos ayudan a interpretar la dimensión de la cabaña ganadera y la capacidad productiva en un contexto de ausencia de insumos tecnológicos, salvo técnicas como el cultivo de leguminosas o riego en situaciones concretas. En consecuencia, la cabaña ganadera de 1750 puede interpretarse como un escenario de referencia que nos ayude a entender el calentamiento añadido por la ganadería durante el periodo industrial en España.

**Estudio financiado por el Gobierno Vasco, Programa Ikertalent 2022 y la Fundación Cándido Iturriaga y María Dañobeitia.**

---

**FORESTAL – sesiones orales**

---

## Más allá del incendio: el efecto de la gestión post-incendio en las pérdidas de carbono forestal

Cristina Aponte<sup>1</sup>, Cristina Carrillo<sup>1</sup>, Amara Santiesteban-Serrano<sup>1</sup>, Javier Madrigal<sup>1</sup>, Sara de Paula<sup>1</sup>, Cristina Fernández<sup>2</sup>, Manuel Jaime Baeza<sup>3</sup>, Víctor M. Santana<sup>3</sup>, María Dolores Carmona-Yáñez<sup>4</sup>, Manuel Esteban Lucas-Borja<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR-INIA, CSIC), Madrid, España

<sup>2</sup> Misión Biológica de Galicia (MBG-CSIC), Pontevedra, España

<sup>3</sup> Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM), Paterna, España

<sup>4</sup> Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), Albacete, España

\*[cristina.aponte@inia.csic.es](mailto:cristina.aponte@inia.csic.es)

Los incendios forestales generan pérdidas inmediatas de carbono en los ecosistemas forestales, pero una parte sustancial de las pérdidas totales puede estar asociada a las decisiones de gestión adoptadas tras el incendio. En particular, las prácticas de gestión post-incendio influyen de forma directa sobre dos de los principales reservorios de carbono forestal: la madera y el suelo. A pesar de su uso generalizado, el efecto de estas prácticas sobre la magnitud de las pérdidas de carbono sigue siendo escasamente considerado en la planificación post-incendio. Este trabajo evalúa cómo distintas prácticas de gestión post-incendio condicionan las pérdidas de carbono asociadas a la madera muerta y al suelo mediante un diseño comparativo basado en parcelas establecidas en incendios forestales de la Península Ibérica. El estudio abarca cuatro regiones representativas del ámbito mediterráneo, desde el noroeste hasta la costa levantina, e incluye incendios recientes y de mayor antigüedad respecto al momento de muestreo, lo que permite integrar efectos a corto y medio plazo tras el fuego. En cada sitio se contrastan tratamientos de uso habitual, tales como la saca de madera quemada, y la instalación de fajas y acordonados de restos leñosos, frente a escenarios de no intervención y áreas no quemadas de referencia. La evaluación se centra en la cuantificación de las existencias de carbono en madera muerta y suelo, junto con propiedades edáficas clave relacionadas con la estabilidad del carbono orgánico. Este enfoque aporta criterios comparables para evaluar el efecto de distintas prácticas de gestión post-incendio sobre las pérdidas de carbono en madera muerta y suelo, y contribuye a incorporar la conservación del carbono como un elemento operativo en la planificación y priorización de actuaciones de gestión forestal tras incendios.

**Estudio realizado gracias a las ayudas PID2020-116733RA-I00, TED2021-129451B-C42, CNS2022-135799 y PID2024-157015OB-I00 financiadas por MICIU/AEI/ 10.13039/501100011033 y la “Unión Europea NextGenerationEU/PRTR”.**

## La precipitación como factor determinante del secuestro anual de carbono en encinares bajo distinta gestión

Ana López-Ballesteros<sup>1,2,3\*</sup>, Arnaud Carrara<sup>4</sup>, and Juan Pedro Ferrio<sup>3,5</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Sistemas Agrícolas, Forestales y Medio Ambiente, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Zaragoza, Spain

<sup>2</sup> Instituto Agroalimentario de Aragón -IA2- (CITA-Universidad de Zaragoza), Zaragoza, Spain

<sup>3</sup> Unidad de Suelos y Riegos, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Estación Experimental Aula Dei (EEAD-CSIC), Zaragoza, Spain

<sup>4</sup> Mediterranean Center for Environmental Studies (CEAM), Valencia, (Spain)

<sup>5</sup> Estación Experimental de Aula Dei, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (EEAD-CSIC), Zaragoza, Spain

\*[alopezb@cita-aragon.es](mailto:alopezb@cita-aragon.es)

Los bosques españoles constituyen el 37% del territorio nacional y desempeñan un papel fundamental en la mitigación del cambio climático, la filtración del agua y la estabilización del suelo. A nivel nacional, la superficie forestal ha experimentado un incremento del 57% en las últimas cinco décadas debido al abandono de tierras agrícolas y a los esfuerzos de reforestación y forestación. Los encinares representan la formación forestal más extensa, ocupando actualmente el 15% de la superficie forestal del país. Sin embargo, a pesar de su capacidad para ajustar el periodo vegetativo a condiciones climáticas cambiantes, estas formaciones han mostrado signos alarmantes de decaimiento (i.e. defoliación y mortalidad) durante las últimas décadas. Los dos principales factores detrás de este declive son el cambio climático y el abandono de la gestión forestal tradicional, que da lugar a formaciones densas, compuestas por individuos de crecimiento lento que compiten intensamente por agua y nutrientes y presentan alta vulnerabilidad. En este contexto, resulta urgente identificar estrategias que salvaguarden la salud y estabilidad de estos bosques. La evidencia indica que el resalveo (i.e. claras selectivas) constituyen una práctica silvícola capaz de mejorar la resiliencia de estos sistemas al favorecer el crecimiento de la encina y reducir la competencia por los recursos. Sin embargo, no hay ningún estudio hasta la fecha que mida de forma directa el efecto de esta práctica en el secuestro neto de carbono a escala del ecosistema. El objetivo de este estudio es evaluar el efecto del resalveo y la variabilidad climática sobre el secuestro de carbono y la eficiencia en el uso del agua (EUA) en encinares continentales a lo largo de dos años hidrológicos con condiciones climáticas contrastadas. El primer año hidrológico (2023-2024) fue considerablemente más seco que el siguiente (2024-2025), con valores de SPEI12 que oscilaron entre -2 y más de 2, respectivamente. Para ello, se usarán datos de flujos turbulentos de CO<sub>2</sub> y vapor de agua a escala ecosistema medidos en dos estaciones eddy covariance situadas en dos encinares con y sin resalveo de la comarca de Gúdar-Javalambre (Teruel). Los resultados preliminares muestran que la precipitación es el factor climático principal que influye en el balance anual de carbono de ambos sistemas, ya que durante el año húmedo o de recuperación ambos encinares se comportaron como sumideros de similar magnitud. Sin embargo, en el año seco, el encinar sin resalvear mostró un mayor secuestro de carbono mientras que el encinar resalveado tuvo un balance neutral. La EUA fue superior en el encinar control para ambos años hidrológicos, aunque la recuperación fue mayor en el encinar resalveado.

**Estudio financiado por la Agencia Estatal de Investigación (RYC2023-043829-I funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033, European Union Next Generation EU/PRTR and FSE, and TED2021-129499A-I00 funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and European Union Next Generation EU/PRTR).**

## Lecciones de la teoría de Ecosistemas Abiertos para la gestión forestal

Pablo Manzano<sup>1\*</sup>, Ferran Pauné<sup>1</sup>

<sup>1</sup>BC3- Basque Centre for Climate Change, Leioa, España

\*[pablo.manzano@bc3research.org](mailto:pablo.manzano@bc3research.org)

Tanto entre la población general como en numerosas disciplinas científicas se parte de la asunción de que la mayor parte de la superficie peninsular tiene en la vegetación forestal su clímax ecológico. Dentro de la geobotánica y el estudio de la vegetación a nivel global, sin embargo, desde hace dos décadas se va generalizando una visión de estados alternativos de los ecosistemas. Los lugares sin historia evolutiva de perturbaciones, como los archipiélagos macaronésicos, sí tienen el bosque como formación climática. Las zonas continentales han estado sujetas a procesos de aclarado de la vegetación arbórea que, acompañado a ciertas adaptaciones contra la herbivoría como hojas pequeñas y síndromes espinosos, favorecen el desecado de la vegetación y la extensión de los incendios forestales. Dado que dichas adaptaciones son propias de las especies autóctonas, evitar incendios a largo plazo es insostenible. Esto mismo explica el fracaso de las estrategias de supresión del fuego, y el tímido cambio de paradigma hacia una gestión del mismo. Esta evolución en la comprensión de la vegetación natural tiene importantes consecuencias sobre cómo entendemos el rol del sector forestal en la mitigación climática. En sistemas continentales, favorecer esquemas forestales densos de vegetación autóctona necesariamente implica una caducidad temporal del carbono fijado en el estrato leñoso, dada la inevitabilidad de los incendios. Sistemas mucho más abiertos con discontinuidades del dosel tendrán menos carbono aéreo pero mucho más estable, acompañado también de importantes reservas en el suelo. La influencia del albedo en el balance radiativo, más favorable a dichos sistemas abiertos en zonas con periodos de aridez, es otro factor que cada vez más voces piden tener en cuenta. El mantenimiento de dicha apertura requiere de mantenimiento por actividades tradicionales o de gestión, dada la pérdida relativamente reciente de los vectores que en la historia evolutiva los crearon. Esto en realidad es una oportunidad para que se den la mano la gestión interesada en la evitación de grandes incendios forestales, y la que tiene como objetivo la mitigación a través del sector forestal.

## **Silvo-pastoreo como estrategia de adaptación al cambio climático en encinares mediterráneos**

Eduard Pla Ferrer<sup>1\*</sup>, Diana Pascual Sánchez<sup>1</sup>, Ana Foronda Vázquez<sup>2</sup>, Noemí Lana-Renault Monreal<sup>3</sup>, Olivia Barrantes Díaz<sup>4</sup>, Ramón Reiné Viñales<sup>4</sup>, Yolanda Pueyo Estaún<sup>2</sup>, Jorge Lorenzo Lacruz<sup>3</sup>, Purificación Ruiz Flaño<sup>3</sup>, Javier Retana Alumbrosos<sup>5</sup>

<sup>1</sup> CREAM, Cerdanyola del Vallès, España

<sup>2</sup> Instituto Pirenaico de Ecología, IPE-CSIC, Zaragoza, España.

<sup>3</sup> Universidad de La Rioja, Logroño, España.

<sup>4</sup> Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España.

<sup>5</sup> Universitat Autònoma de Barcelona, Cerdanyola del Vallès, España.

\**e.pla@creaf.cat*

Las zonas de media montaña mediterránea se consideran especialmente vulnerables a los efectos del cambio climático debido, entre otros factores, al incremento en la frecuencia e intensidad de sequías y a la mayor recurrencia de incendios forestales. A ello se suma el progresivo abandono rural registrado en las últimas décadas, que ha favorecido la homogeneización del paisaje y la pérdida del mosaico agroforestal tradicional, reduciendo la resiliencia ecológica de estos sistemas. En este contexto, el proyecto LIFE MIDMACC implementó en 2020 un experimento de gestión forestal adaptativa combinada con pastoreo rotacional de una raza autóctona de vaca en un encinar en el macizo de la Albera (extremo oriental de la cordillera pirenaica), con el objetivo de evaluar su contribución a la provisión de servicios ecosistémicos y a la adaptación frente al cambio climático. Durante un periodo de cuatro años se realizó el seguimiento de múltiples variables ecológicas relacionadas con el estado funcional del ecosistema. Los resultados mostraron que la gestión silvo-pastoral favoreció una mejora significativa en la salud del bosque, evidenciada por un mayor contenido hídrico de la vegetación y una reducción del riesgo potencial de fuego de copas. Adicionalmente, la gestión silvo-pastoral facilitó el desarrollo de comunidades herbáceas bajo arbolado, aumentando su cobertura, diversidad y valor nutritivo, lo que refuerza su potencial para sostener sistemas de ganadería extensiva. Asimismo, la intervención promovió un incremento del contenido de agua en el suelo, asociado al establecimiento de una cubierta herbácea estable, sin detectarse efectos adversos significativos sobre la escorrentía superficial ni sobre los procesos erosivos derivados de la actividad ganadera. A su vez, el proyecto Life Pyrenees4Clima ha retomado este enfoque en la misma zona, mejorando distintos aspectos de la gestión ganadera. En conjunto, estos resultados evidencian que la integración de prácticas forestales adaptativas y pastoreo controlado constituye una estrategia eficaz para mejorar la resiliencia ecológica, reducir riesgos asociados al cambio climático y recuperar funciones ecosistémicas clave en paisajes mediterráneos de montaña.

**Estudio financiado por la Comisión Europea, Programa Life, a través del proyecto Life MIDMACC (2019-2024) y Life Pyrenees4Clima**

## Tipificación de explotaciones ganaderas en dehesa en función del manejo y las características del suelo en relación con el secuestro de carbono

Juan Romero Jiménez<sup>1\*</sup>, Jesús Aguilera Huertas<sup>2,3</sup>, Manuel González Rosado<sup>2</sup>, Carolina Reyes Palomo<sup>4</sup>, Luis Parras Alcantara<sup>2</sup>, Vicente Rodríguez Estevez<sup>4</sup>, Beatriz Lozano García<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Cátedra de Medio Ambiente ENRESA, University of Cordoba, 14071 Cordoba, Spain

<sup>2</sup> Grupo de Investigación SUMAS, Departamento de Química Agrícola, Edafología y Microbiología, Facultad de Ciencias, Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario-ceiA3, Universidad de Córdoba, 14071 Córdoba, España

<sup>3</sup> Departamento de Ciencia Agrícola, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII 48, 30203 Cartagena, España

<sup>4</sup> Grupo de Investigación AGR-287, Departamento de Producción Animal, Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario - ceiA3, Universidad de Córdoba, 14071 Córdoba, España

\*a92rojij@uco.es

La creciente preocupación por el cambio climático hace cada vez más necesario analizar las emisiones y la capacidad de secuestro de carbono de los sistemas agroganaderos. La dehesa es un sistema agrosilvopastoral mediterráneo en el que las emisiones de gases de efecto invernadero de su ganadería extensiva se ven penalizadas cuando se comparan con las de la ganadería intensiva. Sin embargo, la dehesa, evaluada como sistema ganadero presenta un elevado potencial para el secuestro de carbono en suelo; aunque su diversidad estructural y de manejo dificulta la identificación de patrones claros de acumulación. El presente trabajo tiene como objetivo analizar la variabilidad del carbono orgánico del suelo en doce explotaciones ganaderas de dehesa de la Comarca de Los Pedroches (Córdoba, España) y tipificarlas en función de sus características edáficas y de manejo, en relación con su capacidad de almacenamiento de carbono. El estudio se centra sobre todo en la fracción edáfica, considerando el stock de carbono orgánico, junto con variables físicas y químicas del suelo como densidad aparente, fracciones texturales y carbono orgánico particulado. El diseño de muestreo incorpora la diferenciación entre posiciones bajo copa y en área abierta, así como la estratificación por profundidad, con el fin de captar la influencia del arbolado y de la distribución vertical del carbono. Se aplicaron análisis estadísticos comparativos y técnicas multivariantes para explorar la existencia de agrupaciones funcionales de explotaciones según su comportamiento edáfico. A priori, los resultados ponen de manifiesto que la variabilidad del carbono en suelo no puede explicarse únicamente por el tipo de manejo, sino que responde a la interacción entre litología, estructura del sistema y propiedades físicas del suelo. Además, se concluye que algunos de los sistemas de ganadería extensiva-dehesa estudiados tienen un balance de carbono negativo con una media de hasta -9.875 y -6.273,2 Mg CO<sub>2</sub>-eq ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, ya que el secuestro de carbono es mayor que las emisiones; lo que contribuye a la mitigación del cambio climático. Este trabajo aporta una base objetiva para la tipificación de ganaderías en dehesa desde una perspectiva edafológica, destacando el papel del suelo como elemento central en la mitigación climática y subrayando la necesidad de integrar indicadores edáficos en la evaluación de la sostenibilidad de sistemas ganaderos extensivos.

**Este trabajo ha sido financiado por ALLTECH Spain con el proyecto “Evaluación de la huella de carbono de diferentes tipologías de explotaciones y manejo en las dehesas de la Comarca de los Pedroches” y por un contrato predoctoral de Cátedra de Medio Ambiente ENRESA de la Universidad de Córdoba**

## Efecto de la quema en pilas de residuos forestales sobre la diversidad microbiana del suelo y su recuperación temprana en la Vall d'Aran

Marc Viñas<sup>1\*</sup>, Miriam Guivernau<sup>1</sup>, Alejandro Vazquez<sup>1</sup>, Yolanda Lucas<sup>1</sup>, Montse Núñez<sup>1</sup> Ralph Rosenbaum<sup>1</sup>, Carla Fuentes<sup>2</sup>, Jordi Araqué<sup>2</sup>, Mar Gallego<sup>2</sup>, Jordi Garcia-Pausas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Programa de Sostenibilitat en Biosistemes. Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA), Caldes de Montbui (Barcelona), España.

<sup>2</sup> Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC), Solsona (Lleida), España.

\*[marc.vinas@irta.cat](mailto:marc.vinas@irta.cat)

Las quemadas prescritas forestales se utilizan en la gestión silvopastoral para reducir la carga de combustible y favorecer pastos para la ganadería extensiva en zonas forestales de montaña. Sin embargo, aún se conoce poco su impacto, sobre la diversidad de la microbiota edáfica a lo largo del tiempo en ecosistemas forestales subalpinos. Este estudio evaluó el efecto de una quema prescrita de restos de desbroce, destinada a promover el pastoreo ovino, sobre la microbiota del suelo y su recuperación durante seis meses. La quema se realizó en terrazas herbáceas adyacentes a la zona de desbroce en Vilamòs (Vall d'Aran, Lleida, 1200–1250 m s.n.m.). El objetivo fue estudiar el efecto de la quema sobre la fisicoquímica y la diversidad microbiana del suelo a corto y medio plazo, e identificar táxones indicadores de impacto y recuperación. Se estudiaron cuatro pilas de quema comparando suelos quemados y no quemados, a dos profundidades (0–5 y 5–15 cm) y dos momentos (+15 y +180 días). Se cuantificaron poblaciones microbianas mediante qPCR y se analizó la diversidad de procariotas y hongos mediante metataxonomía de 16S rRNA e ITS2 (Qiime2-DADA2), junto con análisis de beta-diversidad multivariantes (Bray-Curtis y Permanova), detección de biomarcadores (LefSE) y caracterización fisicoquímica del suelo. Los resultados muestran un fuerte impacto del fuego en la fisicoquímica del suelo, con pérdidas superficiales de C orgánico y N y un aumento temporal del pH y de la disponibilidad de nutrientes (excepto N-NO<sub>3</sub>), probablemente por el aporte de cenizas, la liberación de nutrientes de la necromasa microbiana, y la disrupción de agregados. A los seis meses, la mayoría de nutrientes se recuperan, aunque persiste la pérdida de C y N en los 5 cm superficiales. A nivel microbiológico, disminuyó la abundancia de bacterias y hongos durante los primeros 180 días en ambas profundidades, y la alfa diversidad (Chao1 y Shannon) se redujo drásticamente a corto plazo (+15 d), con caídas del 75–85 % y una recuperación parcial de la diversidad de procariotas a los seis meses. A nivel composicional, la quema generó una diferenciación clara, favoreciendo taxones resistentes y oportunistas, destacando filos de Firmicutes (*Paenibacillus*, *Brevibacillus*, *Geobacillus*, *Tumebacillus*) y Actinobacteria (*Arthrobacter*, *Paeniglutamibacter*, *Pseudonocardia*, *Actinomadura* y *Mycobacterium*). En contraste, grupos importantes asociados al ciclo del nitrógeno, como Nitrososphaeraceae, y *Bradyrhizobium*, fueron los más afectados a corto plazo (+15d). A los 180 días se detectó una recuperación parcial de importantes filos procariotas asociados a buena salud del suelo como Acidobacteria, Verrucomicrobia, Planctomycetota, Chloroflexi, así como un aumento de Glomeromycota, sugiriendo también una recuperación del potencial micorrícico. En conjunto, los resultados indican que las quemadas prescritas de severidad moderada generan impactos microbianos intensos a corto plazo, aunque gradualmente reversibles principalmente en la comunidad de procariotas.

Estudio financiado por el proyecto Ovihuec.dat (Convocatoria de ayudas de la Fundación Biodiversidad, Orden TED/1014/2021, y Orden TED/408/2023).

---

**FORESTAL – sesiones flash-talk**

---

## **El manejo pastoral puede reducir las pérdidas de carbono en los pastizales semiáridos: balance de los flujos de CO<sub>2</sub> escalados a partir de mediciones discretas con cámaras portátiles**

Alejandro Carrascosa<sup>1</sup>, Víctor Rolo<sup>1</sup>, Arnaud Carrara<sup>2</sup>, Laura Nadolski<sup>3</sup>, Sung-Ching Lee<sup>3</sup>, Gerardo Moreno<sup>1</sup>

<sup>a</sup> Forest Research Group, INDEHESA, University of Extremadura, Plasencia, Cáceres, Spain

<sup>b</sup> Mediterranean Center for Environmental Studies. (CEAM), Valencia, Spain.

<sup>c</sup> Biogeochemical Integration, Max Planck Institute for Biogeochemistry, Jena, Germany

La evaluación de los flujos de carbono (C) en pastizales semiáridos es esencial para diseñar estrategias de gestión adaptativa frente al cambio climático. Sin embargo, el monitoreo continuo del intercambio de CO<sub>2</sub> mediante estaciones permanentes (Eddy Covariance) es costoso y, a menudo, inadecuado para comparar tratamientos a pequeña escala espacial. La ampliación de las mediciones de cámaras portátiles mediante modelos de aprendizaje automático (machine-learning) puede ofrecer una alternativa prometedora. Este trabajo evalúa el potencial de este enfoque para evaluar los efectos del manejo de los pastos en su balance anual de carbono. Durante dos años, se recogieron 1020 mediciones del intercambio gaseoso neto del ecosistema (NEE), la productividad primaria bruta (GPP) y la respiración del ecosistema (Reco) utilizando cámaras portátiles a intervalos mensuales o bimensuales en 15 parcelas repartidas en 3 dehesas x 5 manejos. Se entrenaron modelos regresión cubistas a partir de las observaciones utilizando datos climáticos, de vegetación (NDVI), propiedades del suelo y las categorías de manejo como predictores. Tanto la validación cruzada espacio-temporal como la validación independiente con respecto a siete años de mediciones de EC en una de las parcelas revelaron predicciones fiables de los flujos de carbono a escala horaria, diaria y anual. Los resultados muestran que los pastos estudiados se comportan como importantes fuentes netas de carbono, especialmente durante los años más secos. Los flujos de carbono estuvieron determinados principalmente por las condiciones climáticas, en las que el contenido de agua del suelo desempeñó un papel fundamental. El NDVI y la fertilidad del suelo también fueron predictores clave de la NEE, la GPP y la Reco, y mediaron la mayoría de los efectos del manejo. La exclusión del pastoreo y el enriquecimiento reciente (<5 años) o antiguo (>10 años) con leguminosas redujeron las pérdidas netas anuales de carbono en un 17 %, un 9 % y un 17 %, respectivamente, aunque el beneficio de estos manejos disminuyó con el aumento de la sequía. Por el contrario, el pastoreo rotacional redujo las pérdidas netas anuales de carbono en un 12 %, independientemente de las condiciones climáticas.

**Este estudio es parte del proyecto DIGITAF financiado por el programa HORIZON EUROPE (Ref 101059609)**

## **Drought Futures for Argan Landscapes: Integrating Remote Sensing, Soil Hydraulics and SSP Scenarios (Essaouira Province, Morocco)**

Lfaadassan Issam <sup>1</sup>, Bounoua Lahouari <sup>2</sup> Lagmiri Souad <sup>3</sup>, Rhazi Laila <sup>1</sup>, Moukrim Saïd <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratory of Botany and Valorization of Plant and Fungal Resources (BOVAREF), Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat. Morocco

<sup>2</sup> Goddard Space Flight Center, 660 Biospheric Laboratory, Washington, États-Unis.

<sup>3</sup> Research Center for the Organization and Dissemination of Geographic Information (PRODIG), UMR 8586(CNRS), Paris City University, France.

Argan (*Argania spinosa*) agroforestry systems in Essaouira Province (Marrakech–Safi, Morocco) are a cornerstone of semi-arid livelihoods and biodiversity, yet their functioning is increasingly constrained by water stress. This work presents an integrated ecohydrological framework to map current and future drought pressure and to support restoration-oriented decision making under contrasted socio-economic pathways (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5; 2020–2080). We combine (i) downscaled CMIP6 climate forcing (temperature and precipitation) with coastal exposure and topography, (ii) soil hydraulic traits derived from representative WRB soil groups (Arenosols, Calcisols, Cambisols and Regosols) and laboratory soil-water retention curves parameterized with the van Genuchten–Mualem model, and (iii) multi-decadal Landsat vegetation metrics (NDVI and anomalies) to quantify spatio-temporal dynamics of vegetation condition. Processing is implemented in Google Earth Engine for scalable extraction and annual rasterization, while R/Python workflows are used for parameter estimation, model diagnostics and uncertainty propagation. Outputs include annual maps of cumulative water deficit and root-zone water availability proxies, together with vegetation-condition indicators that capture drought sensitivity in argan-dominated mosaics. The approach enables the identification of vulnerability hotspots and prioritization of interventions (soil and water conservation, targeted restoration, and management of grazing pressure) under future drying. By explicitly linking climate scenarios to soil hydraulic constraints and biologically meaningful plant-available water, the framework strengthens the use of microclimate- and water-informed strategies to sustain ecosystem services provided by argan agroforestry systems (vegetation condition, carbon storage potential and erosion control proxies) in Southwestern Morocco.

## Respuesta diferencial de la emisión de CO<sub>2</sub> en tejidos leñosos en dos especies de roble con estrategias de uso de agua contrastadas

Juan Pedro Ferrio<sup>1\*</sup>, José Javier Peguero-Pina<sup>2,3,4</sup>, Domingo Sancho-Knapik<sup>2,3,4</sup>, Eustaquio Gil-Pelegrín<sup>1</sup>, Ana López-Ballesteros<sup>2,3,4\*</sup>

<sup>1</sup>Estación Experimental de Aula Dei, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (EEAD-CSIC), Zaragoza, Spain

<sup>2</sup>Departamento de Sistemas Agrícolas, Forestales y Medio Ambiente, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Zaragoza, Spain

<sup>3</sup>Instituto Agroalimentario de Aragón -IA2- (CITA-Universidad de Zaragoza), Zaragoza, Spain

<sup>4</sup>Unidad de Suelos y Riegos, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Estación Experimental Aula Dei (EEAD-CSIC), Zaragoza, Spain

\* [jpferrio@eead.csic.es](mailto:jpferrio@eead.csic.es), [alopezb@cita-aragon.es](mailto:alopezb@cita-aragon.es)

Determinar el origen de las emisiones de CO<sub>2</sub> de tejidos leñosos y su contribución al balance de carbono del bosque es un desafío actual, ya que varios procesos de producción (respiración de suelo y tronco), absorción (refijación) y transporte (transpiración) pueden intervenir de manera simultánea y dinámica en la emisión medida. El objetivo principal de este trabajo es cuantificar e identificar el origen del CO<sub>2</sub> emitido en el tronco de dos especies de roble ampliamente distribuidas en la Península Ibérica y con estrategias fisiológicas contrastadas: la encina (*Quercus ilex* subsp. *rotundifolia*), especie perennifolia con alta regulación estomática, y quejigo (*Quercus faginea*), especie caducifolia con altas tasas de transpiración incluso en condiciones de estrés hídrico. Para ello, hicimos dos experimentos complementarios de incubación y monitorización, en los que, por un lado, medimos la respuesta de la respiración a la temperatura usando troncos y muestras de suelo aisladas del sistema suelo-árbol-atmósfera, y por el otro, cuantificamos la emisión de CO<sub>2</sub> del tronco y su señal isotópica (<sup>13</sup>C y <sup>18</sup>O) de manera continua durante un periodo de un mes con condiciones de humedad y sequía moderada. Los resultados de las incubaciones mostraron una respuesta térmica similar en ambas especies, con un coeficiente Q<sub>10</sub> de 2,28, típico de la respiración bruta. En contraste, el CO<sub>2</sub> del suelo mostró una respuesta más acusada a la temperatura (Q<sub>10</sub> = 3,44). En general, la temperatura del tronco fue el mejor predictor de la emisión de CO<sub>2</sub>. Durante la noche, la relación de las emisiones con la temperatura coincidió con los resultados de incubación, sin embargo, durante el día, la emisión fue menor. Los valores menos negativos de <sup>13</sup>C en el CO<sub>2</sub> emitido durante el día apuntan a la refijación de CO<sub>2</sub> y a la transpiración como procesos responsables. Las condiciones de sequía moderada (potencial hídrico del suelo < -0,3 MPa) modificaron la relación temperatura-emisión, pero de forma opuesta según la especie: la emisión aumentó en *Q. ilex* y disminuyó en *Q. faginea*. Además, cuando la temperatura del suelo superó la del tronco, la emisión observada superó a la teórica, ajustándose mejor al Q<sub>10</sub> del suelo en comparación al del tronco. La señal isotópica apoyó la interpretación de una contribución significativa del CO<sub>2</sub> procedente del suelo. En conjunto, los resultados indican que la emisión de CO<sub>2</sub> en tejidos leñosos es altamente sensible a la transpiración, la fotosíntesis cortical y la humedad del suelo. Las diferencias entre especies se vinculan a sus estrategias de uso del agua. Finalmente, la diferencia entre la temperatura del suelo y tronco se propone como un indicador útil para identificar el origen del CO<sub>2</sub> emitido con implicaciones importantes para la modelización del flujo de carbono en el continuo suelo-árbol-atmósfera.

**Estudio financiado por los siguientes proyectos:** i) EQC2019-006371-P y PID2023-149430NB-I00, financiados por MCIU/AEI/10.13039/501100011033 y ERDF "A way of making Europe", ii) IJC2020-

**045630-I y TED2021-129499A-I00 financiados por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y European Union Next Generation EU/PRTR, iii) PID2019-106701RR-I00 financiado por MCIU/AEI/10.13039/501100011033, iv) RYC2023-043829-I financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033, European Union Next Generation EU/PRTR y FSE+, y v) por el Gobierno de Aragón a través del grupo de investigación.**

## **Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero tras la aplicación de biochar en el suelo de la dehesa**

Víctor Rolo<sup>1\*</sup>, María Vivas<sup>1</sup>, Gerardo Moreno<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Forestal, INDEHESA, Universidad de Extremadura, Plasencia, España

\*[rolo@unex.es](mailto:rolo@unex.es)

La gestión del estiércol constituye un proceso clave para reducir el impacto ambiental de la producción ganadera. El estiércol está relacionado con un parte importante de las emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O), otros contaminantes como el amoníaco o la contaminación por lixiviados de nitratos. Tradicionalmente el manejo del estiércol incluye tres fases: recoger, almacenar e incorporar en el suelo. Sin embargo, estas fases a su vez generan problemas ambientales. El presente trabajo evalúa el uso del biochar, producido en la dehesa con restos de poda, en la emisión de gases de efecto invernadero tras su aplicación en los pastos de la propia dehesa. Se evaluaron cuatro tratamientos: biochar, estiércol, estiércol con biochar y control, en zonas bajo y fuera de copa. Los resultados mostraron una reducción en la emisión de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O después de la adición de biochar, principalmente en zonas fuera de copa. El efecto del arbolado fue más acusado en la emisión de CO<sub>2</sub>, mostrando mayores valores bajo que fuera de copa. La enmienda con estiércol, sólo o con biochar, redujo la emisión de CH<sub>4</sub> desde el suelo. No se observó un efecto significativo en la emisión de N<sub>2</sub>O tras cualquiera de las enmiendas. Estos resultados sugieren que la aplicación del biochar en el suelo de la dehesa se puede considerar como una práctica con potencial para reducir la emisión de gases de efecto invernadero. No obstante, es necesario conocer sus implicaciones en otros componentes del ecosistema.

**Este estudio es parte del proyecto PID2023-151577NB-C22 financiado por MCIN/AEI /10.13039/501100011033 /10.13039/501100011033 y FEDER, UE.**

---

**SOCIOECONOMICO – sesiones orales**

---

## Políticas climáticas en el contexto de la agricultura en España

Inma Batalla<sup>1\*</sup> Agustín del Prado<sup>1,2</sup> Chiara De Tomassi<sup>1,3</sup> Víctor Martínez-Cano<sup>1,4</sup> María Jose Sanz<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> BC3 - Basque Centre for Climate Change, Leioa, España

<sup>2</sup> Fundación Ikerbasque, Bilbao, España

<sup>3</sup> CEIGRAM – Universidad Politécnica de Madrid, España

<sup>4</sup> EHU. Universidad del País Vasco, España.

\**inmaculada.batalla@bc3research.org*

El sector agrario en España es responsable del 12% de las emisiones de GEI, principalmente metano y óxido nitroso, pero a la vez es uno de los más vulnerables a la crisis climática. Este trabajo presenta un análisis técnico de las singularidades del sector agroalimentario español frente a los objetivos del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC), la PAC y otras políticas climáticas, integrando datos recientes sobre la estructura productiva y el uso del suelo. En España, las actividades agropecuarias ocupan el 53% del territorio nacional, reflejando una gran heterogeneidad productiva. La agricultura combina una predominancia de cereales (34%) y cultivos leñosos como el olivar (17%). Por su parte, la ganadería muestra una estructura muy diversa con algunos sectores con fuerte vocación exportadora, especialmente en el sector porcino. En el contexto actual, la gobernanza climática del sector transita desde el modelo tradicional de la PAC hacia nuevos esquemas de financiación y fiscalidad ambiental. Se observa un énfasis creciente en instrumentos de mercado a nivel europeo, destacando el desarrollo del *carbon farming* como mecanismo de compensación económica en mercados voluntarios y el debate sobre la posible inclusión del sector en el Sistema de Comercio de Emisiones (ETS). Estas iniciativas buscan internalizar los costes ambientales, planteando interrogantes sobre cómo distribuir la carga financiera y la responsabilidad a lo largo de la cadena de valor. El estudio identifica cuatro retos principales para la acción climática:

- Escala de medición: Existen discrepancias entre las emisiones reportadas en la huella de carbono y los Inventarios Nacionales, especialmente en ganadería intensiva donde el impacto de la importación de piensos de terceros países no se refleja en el Inventario Nacional.
- Sistemas de verificación: La naturaleza difusa de las emisiones y los costes de monitoreo dificultan la verificación de medidas de mitigación y su inclusión en herramientas como ECOGAN o los Inventarios Nacionales.
- Diversidad de sistemas: La variabilidad entre sistemas de secano y regadío, o entre ganadería estabulada y pastoreo, exige que las políticas como mercados de carbono y mitigación se adapten a condiciones territoriales específicas y no sean medidas únicas para todos.
- Responsabilidad y viabilidad: Dada la estructura atomizada del sector y la limitada rentabilidad, es necesario replantear el reparto de responsabilidades a lo largo de la cadena alimentaria para garantizar la viabilidad técnica y económica de las nuevas exigencias climáticas.

Se concluye la necesidad de promover prácticas que integren mitigación y adaptación, mejorando la coherencia entre los sistemas de contabilidad de emisiones y la realidad productiva del campo español.

**Estudio financiado por la European Climate Foundation**

## PRODUCTION AND CONSUMPTION STRATEGIES TO MITIGATE THE CARBON FOOTPRINT OF THE AGRI-FOOD SECTOR IN SPAIN

Chiara De Tomassi<sup>1,2\*</sup>, Luis Lassaletta<sup>2</sup>, Víctor Martínez-Cano<sup>1,3</sup>, María José Sanz<sup>1</sup>, Inmaculada Batalla<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Basque Centre for Climate Change (48940, Leioa).

<sup>2</sup>Universidad Politécnica de Madrid – CEIGRAM (28040, Madrid).

<sup>3</sup>Universidad del País Vasco (48940, Leioa)

\*[chiara.detomassi@bc3research.org](mailto:chiara.detomassi@bc3research.org)

Agri-food systems account for approximately 34% of global greenhouse gas (GHG) emissions (Crippa et al., 2021) and play a central role in shaping dietary patterns and environmental outcomes. Addressing their climate impact requires a systemic perspective that integrates both production and consumption dynamics to enable effective and scalable transitions (FAO, 2025). While recent literature has assessed mitigation potentials across the agri-food system by combining supply- and demand-side interventions (Springmann, 2024), most analyses remain global in scope, limiting their policy relevance at the territorial level. More spatially explicit and context-sensitive studies are therefore needed (Preinfalk et al., 2024). In Spain, existing research has addressed supply-side mitigation strategies (Sánchez et al., 2014) and food consumption patterns separately (Cambeses-Franco et al., 2022). This study aims to bridge this gap by assessing how combined supply- and demand-oriented strategies could reduce the GHG emissions associated with Spanish food consumption. On the supply side, agricultural and livestock production will be characterised according to production systems. A set of promising mitigation measures will then be applied, including both technology-based solutions (e.g. the use of 3-NOP feed additives) and agronomic practices (e.g. crop rotation, improved manure management). The resulting carbon footprint of Spanish food consumption will be estimated under two scenarios reflecting partial (50%) and full (100%) implementation of these measures. On the demand side, dietary shifts will be modelled using the Spanish food-related carbon footprint methodology. Starting from the 2024 business-as-usual consumption pattern, alternative scenarios will reflect increasing adherence to the Spanish Dietary Guidelines (López García et al., 2022), considering two intermediate transition levels (40% and 60% adherence). Results will first present the mitigation potential of supply- and demand-side strategies independently, and subsequently explore their combined effects. By integrating production and consumption changes within a single analytical framework, this study highlights the importance of coordinated, systemic approaches to reduce the carbon footprint of the Spanish agri-food system and support evidence-based climate and food policies.

## **Integración de los servicios ecosistémicos de la ganadería extensiva en el Análisis de Ciclo de Vida: el caso Ovihuec.dat**

Renata Martins Pacheco<sup>1\*</sup>, Miquel Andón<sup>1</sup>, Ariadna Bàllega<sup>1</sup>, Nuria Martínez<sup>1</sup>, Víctor Rancaño<sup>1</sup>, Marta Ruiz-Colmenero<sup>1</sup>, Montserrat Núñez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IRTA, Sostenibilidad en Biosistemas, Torre Marimon, 08140 Caldes de Montbui, Cataluña, España  
*\*renata.martins@irta.cat*

En el contexto del cambio climático, la gestión del paisaje se enfrenta a desafíos cada vez más complejos, como el aumento del riesgo de incendios forestales, la pérdida de servicios ecosistémicos (SE) y las amenazas a la seguridad alimentaria. Estos problemas se ven agravados en muchas regiones europeas por transformaciones socioeconómicas que conducen al abandono rural. Entre las actividades con mayor potencial para mitigar estos retos destaca la ganadería extensiva, cuya presencia contribuye a reducir la carga de combustible vegetal, prevenir incendios y mantener una amplia gama de SE, incluida la producción de alimentos. En el proyecto Ovihuec.dat nos proponemos identificar y cuantificar los beneficios que la ganadería extensiva aporta en forma de SE, con especial atención a su papel en la reducción del riesgo de incendios forestales. Este proyecto es fruto de la colaboración entre diversas instituciones de investigación, el Conselh Generau d’Aran y el Ayuntamiento de Vilamòs, un territorio inmerso en un profundo proceso de transición caracterizado por el abandono rural, la transformación del modelo económico y un riesgo creciente de incendios asociado al cambio climático y a la mediterraneización progresiva de los Pirineos. En este contexto, el equipo de ACV de IRTA ha centrado sus esfuerzos en identificar los beneficios ambientales de la ganadería extensiva a partir de una revisión exhaustiva de la literatura científica. Objetivamente, identificar los SE generados por los sistemas de pastoreo extensivo, especialmente aquellos vinculados a la prevención de incendios forestales, y explorar cómo incorporarlos en un Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El proceso de revisión permitió identificar siete SE asociados al pastoreo extensivo en regiones de alta montaña. Mediante la modelización del comportamiento de incendios forestales, logramos integrar dos de estos SE en seis categorías de impacto dentro del ACV. Aunque aún quedan desarrollos metodológicos por completar, este avance representa un paso importante hacia evaluaciones más justas y completas que permitan comparar adecuadamente sistemas ganaderos intensivos y extensivos. Este trabajo tiene implicaciones relevantes para el diseño de políticas públicas, especialmente en ámbitos relacionados con la mitigación del cambio climático, la prevención de incendios forestales y la construcción de modelos de soberanía alimentaria más resilientes.

**El proyecto OVIHUEC.DAT está financiado por la convocatoria de apoyo a proyectos transformadores para el impulso de la bioeconomía vinculada al sector forestal y que contribuyen a la transformación ecológica, en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia – Financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU, para el ejercicio 2023.**

## Percepción de actores sobre prácticas de agricultura de carbono y mercados de carbono en el *Living Lab* IBERSOILL

Eduardo Velázquez<sup>1\*</sup>, M<sup>a</sup> Carmen Asensio<sup>1</sup>, Yolanda Santiago<sup>1</sup>, Laura Birrento<sup>2</sup>, Sílvia Moreira<sup>2</sup>, David M. Ribeiro<sup>3</sup>, Nádía Castanheira<sup>4</sup>, Ana Marta Paz<sup>4</sup>, Regina Menino<sup>5</sup>, Ana de Coca<sup>5</sup>, José M. Santos<sup>5</sup>, María Alonso-Ayuso<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Área de Investigación Agrícola, Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACyL), Carretera de Burgos Km 119, 47071. Finca Zamadueñas, Valladolid, España.

<sup>2</sup> Food4Sustainability - Associação para a Inovação no Alimento Sustentável. Zona Industrial, 6060-182 Idanha-a-Nova, Portugal

<sup>3</sup> Herdade Monte Silveira, 6060, Ladoeiro. Portugal.

<sup>4</sup> Laboratório de Solos, Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV, I.P.). Av. da República, Quinta do Marquês, 2784-505 Oeiras, Portugal.

<sup>5</sup> Unión Regional de Cooperativas Agrarias de Castilla y León. C/ de la Hípica 1, 47007. Valladolid.

\*[velmared@itacyl.es](mailto:velmared@itacyl.es)

A lo largo de la última década los procesos de co-creación se han convertido en un eje fundamental para el desarrollo de *Living Labs*: entornos reales de experimentación que integran investigación e innovación centrados en los usuarios. El *Living Lab* IBERSOILL tiene como objetivo principal promover la adopción de prácticas de agricultura del carbono (CFP según sus siglas en inglés) en Castilla y León (España) y *Beira Baixa* (Portugal). En el marco del mismo se realizaron encuestas a tres grupos de actores: (1) Agricultores/ganaderos, (2) Agroindustria, y (3) Academia. Dichas encuestas se diseñaron para recoger el conocimiento y percepción de dichos actores sobre las CFP y el desarrollo de mercados de créditos de carbono (C) en agricultura y ganadería, sirviendo de base para orientar un evento de co-creación, y fueron respondidas por 32, 13 y 15 personas, respectivamente. Los agricultores y ganaderos dieron las mayores puntuaciones a la reducción del laboreo, la gestión de pastizales y la implantación de cultivos cubierta como las CFP más efectivas para aumentar el carbono orgánico del suelo de forma sostenible. Los académicos dieron las mayores puntuaciones a las mismas prácticas, a excepción de la gestión de pastizales, optando en su lugar por la mejora de la fertilización. Entre las medidas más adecuadas para promover el desarrollo de un mercado de créditos de carbono, los agricultores/ganaderos señalaron de forma mayoritaria (78 %) el establecimiento de acuerdos de cadena de suministro entre dicho grupo y la agroindustria. Los representantes de la academia también señalaron esta medida como la más importante (47 %), mientras que los de la agroindustria se decantaron por el establecimiento de un precio superior para los productos de las explotaciones agrarias en las que se llevan a cabo CFP (33 %). La incertidumbre asociada con el secuestro y la estabilidad de las reservas de carbono en el suelo fue señalada como principal riesgo asociado a la agricultura del carbono por los agricultores/ganaderos y los académicos (92 y un 47 %, respectivamente). Por último, los agricultores y ganaderos identificaron, como principales barreras para la adopción de CFP, la falta de conocimiento técnico durante el proceso de transición a la agricultura de carbono y la existencia de una relación coste/beneficio desfavorable. En cambio, la agroindustria identificó el hecho de evitar que la compraventa de créditos reemplace a la reducción directa de emisiones, y la reducción de los costes de implementación, como los aspectos más cruciales para el desarrollo de un mercado de créditos de carbono. Estos resultados permiten obtener una visión general sobre el estado de conocimiento de los tres grupos de actores identificados en relación a la aplicación de CFP y a los mercados de créditos de carbono, orientando el proceso de co-creación y el desarrollo exitoso de IBERSOILL.

Estudio financiado por la Comisión Europea, Proyecto *Fostering Carbon Farming Practices through Living LABs in the Mediterranean and Southern EU for the healthy future of European SOILS* (LILAS4ASOILS: 101157414, HORIZON-MISS-2023-SOIL-01)

Organizan:



# remedia

3 - 4 de junio de 2026

Campus de Aula Dei, Zaragoza