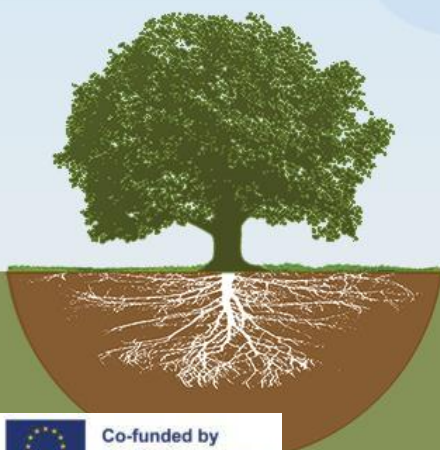


Evaluación de la aplicación de biochar en la calidad del suelo:

Implicaciones en las propiedades físicas, disponibilidad de nutrientes, fisiología del cultivo y dinámica del Carbono



José María de la Rosa

jmrosa@irnase.csic.es

Terraviva est

IRNAS

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla

Índice

1 El suelo: Riesgos, retos y oportunidades para la agricultura de hoy

2 Biochar: Producción, caracterización y propiedades generales

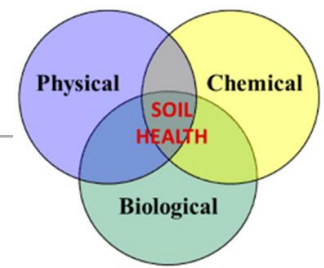
3 Resultados globales de la aplicación de biochars (meta análisis)

4 Casos de estudio bajo condiciones de clima Mediterraneo

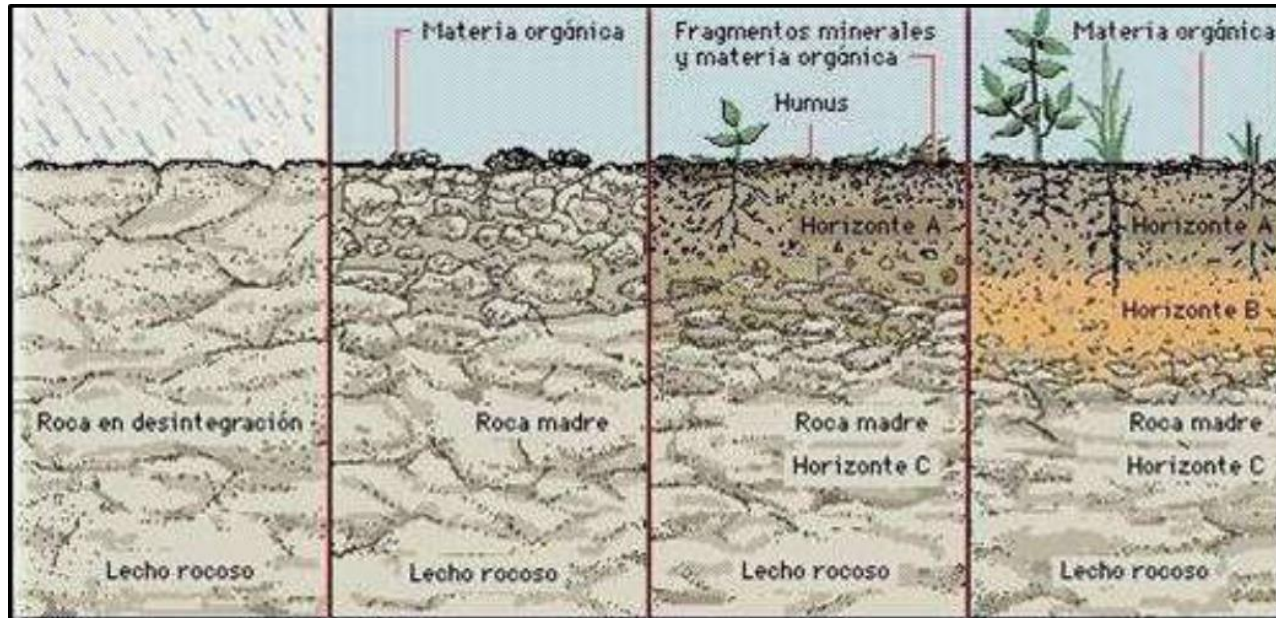
- Suelos contaminados
- Cultivo de cereal y girasol (secano)
- Olivar super intensivo
- Viñedo
- Suelo recuperado (tecnosuelo).

Composición y propiedades del suelo, fisiología y productividad del cultivo, y dinámica del C.





Pedogénesis



- El suelo es ente vivo complejo resultado de la interacción de factores físicos, químicos y biológicos
- No renovable a escala humana (distinta escala temporal de la pedogénesis)



“El suelo es la fuente del 90% de toda la producción de alimentos, piensos, fibras y combustible en la UE”
EEA, 2024

NATURAL CAPITAL



WATER SUPPLY



FOOD



LIVESTOCK



RECREATION



POLLINATION



WOOD



BIOFUELS



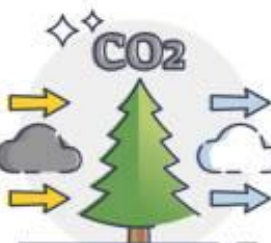
EROSION CONTROL



CLIMATE
STABILIZATION



NUTRIENT
CYCLING



CARBON
SEQUESTRATION



FLOOD
CONTROL



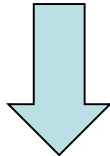
El suelo es esencial para el bienestar humano

Degradación del suelo: Un problema global



Principales factores:

Aridez, erosión, salinidad, pérdida de carbono orgánico,...



Cambio climático incrementa el riesgo de degradación
(Právělie et al., 2021)





UNIÓN EUROPEA



MISIONES DE LA UE

PACTO SOBRE EL SUELO PARA EUROPA



Adaptation to climate change,
including societal
transformation

Healthy
oceans, seas,
coastal and
inland waters



**5 mission
areas**



Cancer

Climate-neutral
and smart cities



Soil health and
food



European
Commission



UNIÓN EUROPEA



MISIONES DE LA UE

PACTO SOBRE EL SUELO PARA EUROPA



Alrededor del 60%² de los suelos de Europa se consideran insalubres debido a las prácticas de gestión actuales, la contaminación, la urbanización y los efectos del cambio climático.

Algunos ejemplos del nivel de degradación del suelo en la UE:



el 50%

de las turberas están drenadas y pierden carbono, lo cual contribuye a la crisis climática

Pérdida de C
Emisiones de GEI



el 24%

de la tierra se ve afectada por unos niveles de erosión hídrica insostenibles

Erosión



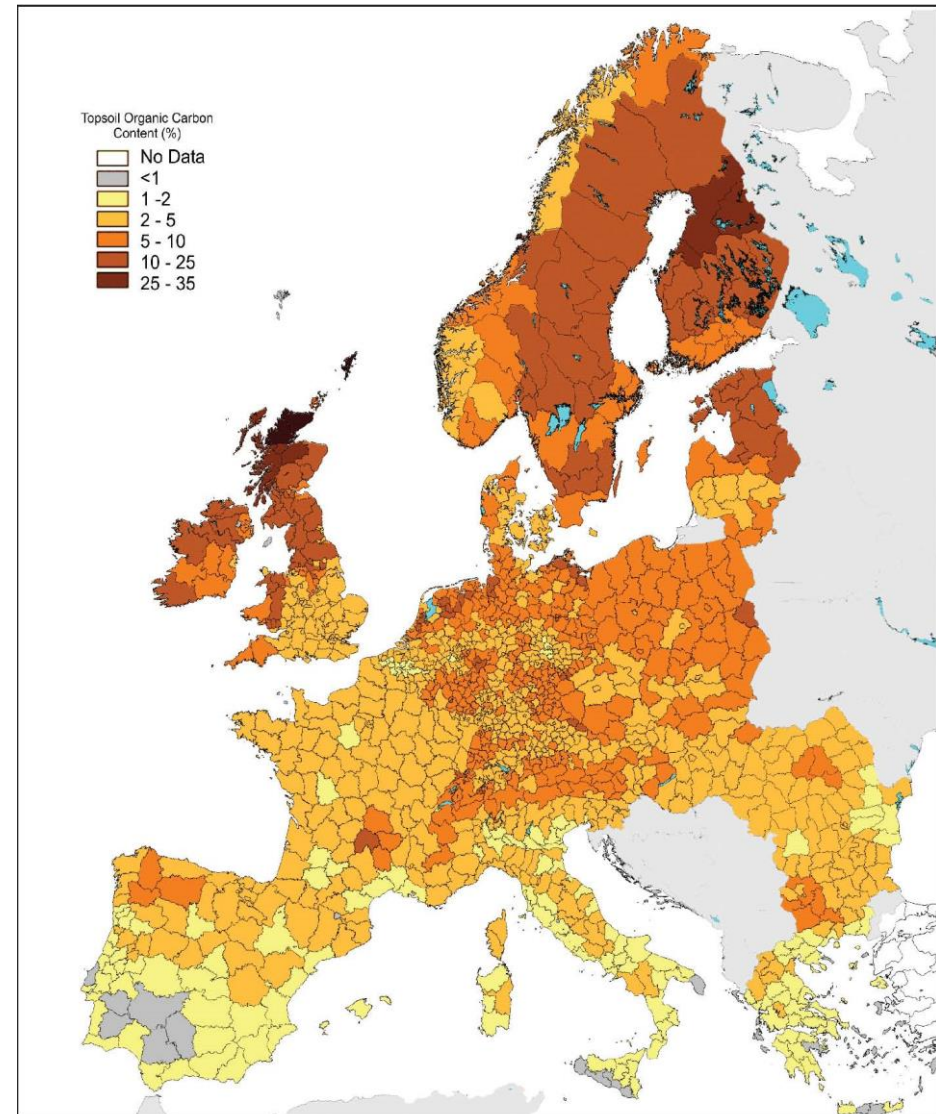
2.8 millones

de lugares potencialmente contaminados suponen importantes riesgos para la salud

Contaminación

Suelos zona Mediterránea muy pobres en C orgánico ($\leq 2\%$)

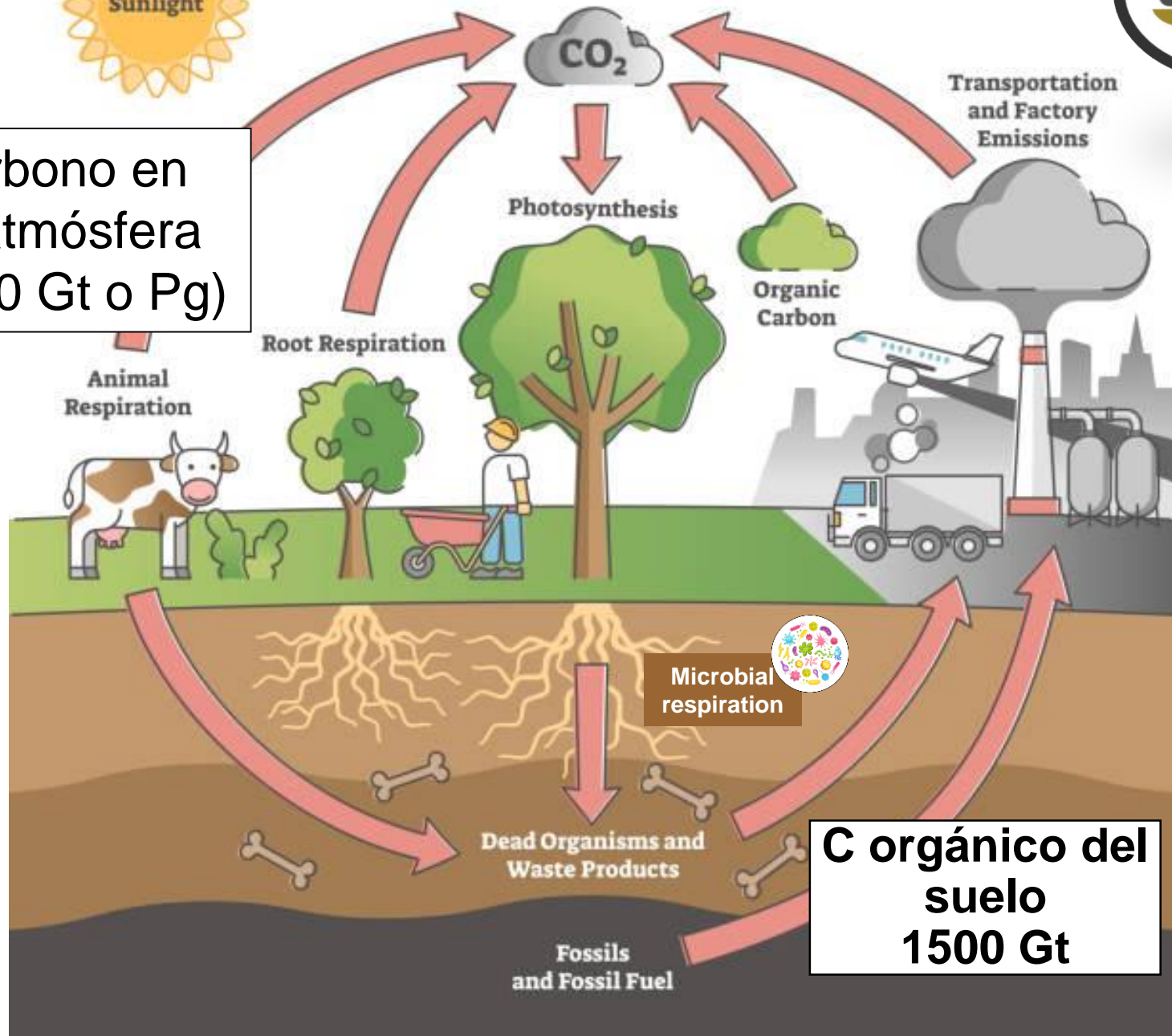
- **Factores climáticos y físicos**
(veranos secos y cálidos, lluvias torrenciales, frecuencia de incendios, orografía del terreno...)
- **Factores humanos** (manejo inapropiado, sobreexplotación,...)



CARBON CYCLE

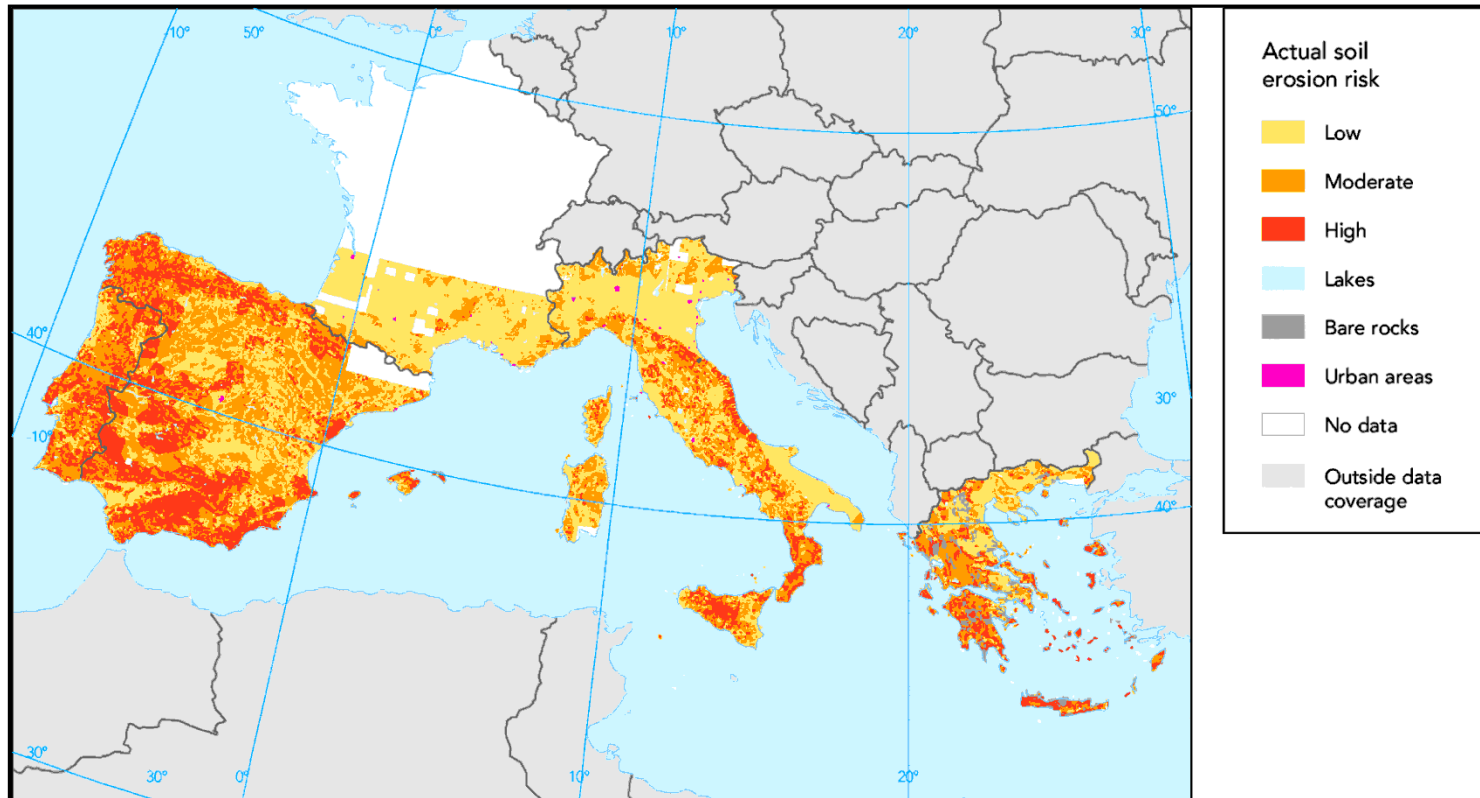


Carbono en
la atmósfera
(720 Gt o Pg)



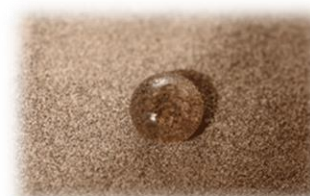
**C orgánico del
suelo
1500 Gt**

Erosión

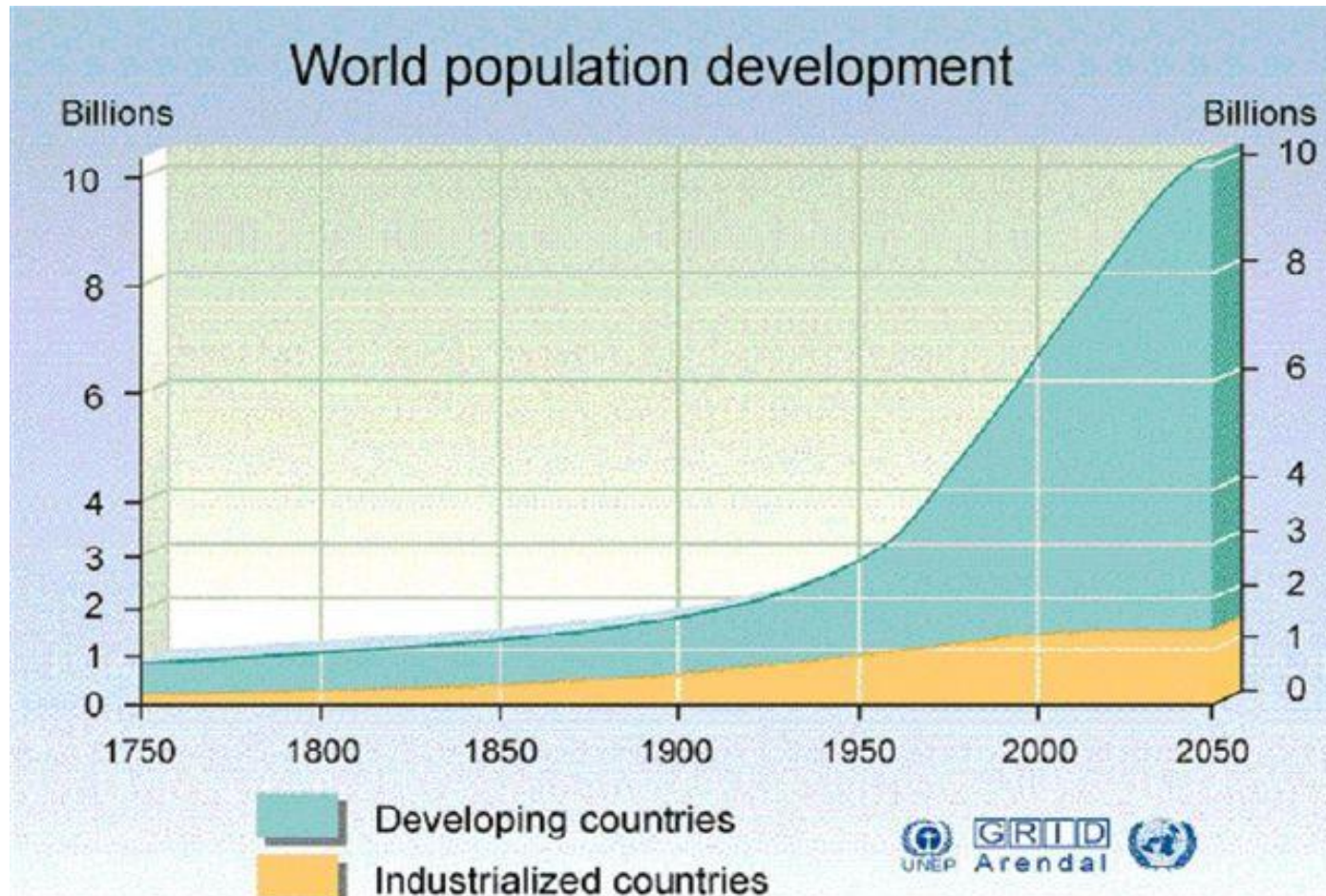


Soil Erosion Risk Map. (Eur. Env. Agency; 2005)

Tasas de erosión (pérdida de suelo)



Principales retos de la agricultura

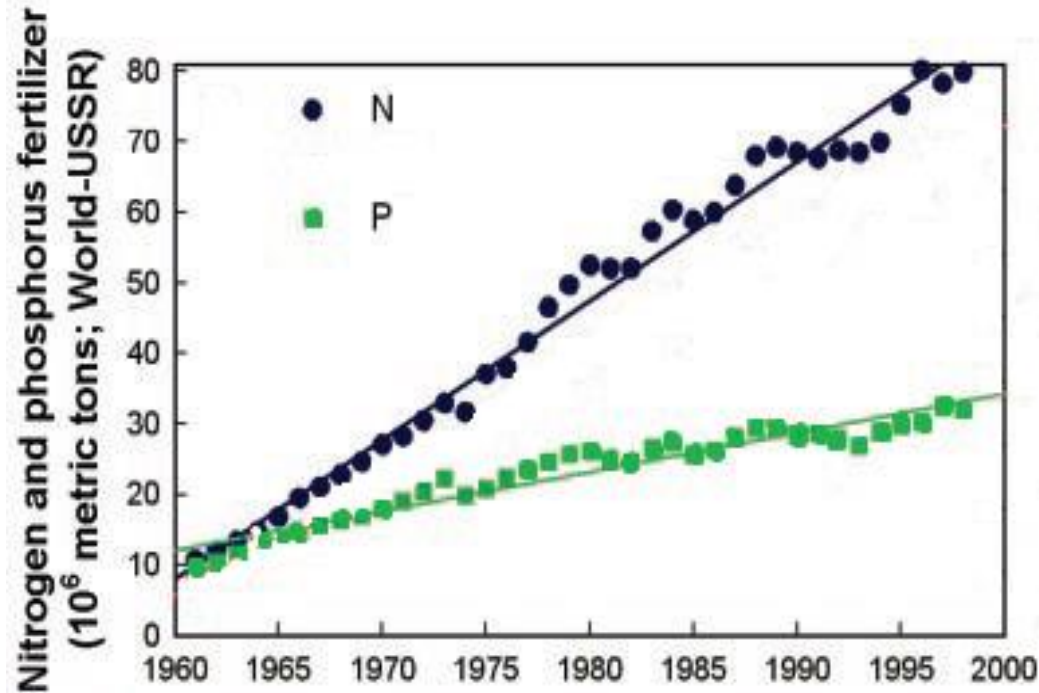


Necesidad de fertilizantes minerales

Principales retos de la agricultura

Necesidad de fertilizantes minerales

Incremento continuo en el consumo mundial de fertilizantes

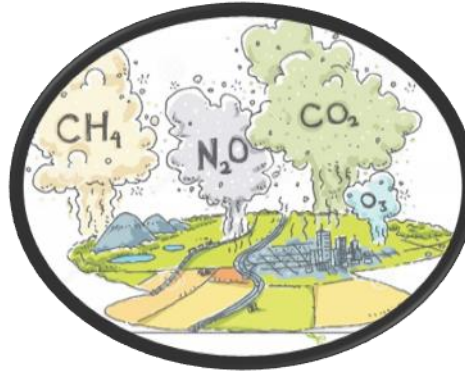


- 2050: 236 mill. ton N/año
- 2050: 84 mill. ton P (P_2O_5)/año

Consecuencias del abuso de los fertilizantes minerales



Eutrofización



**Emisiones gases
efecto invernadero**



Degradación suelos

Recurso no sostenible



**Dependencia de
combustibles fósiles**



Fosfatos

Principales retos de la agricultura

Generación de biomasa residual

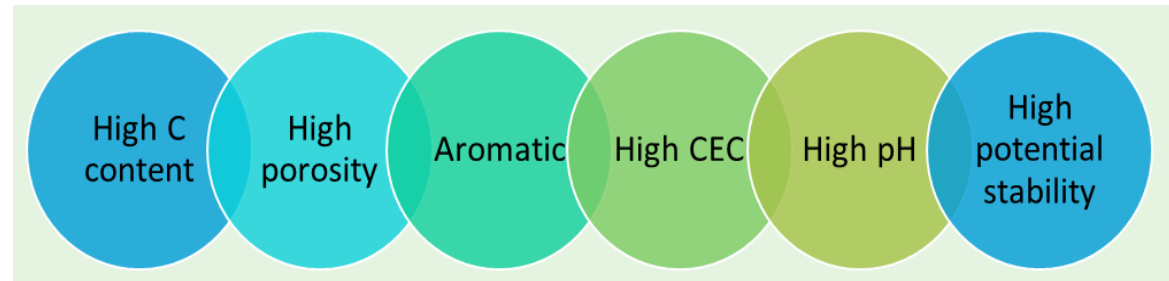
- *Biomasa residual generada en las actividades agrícolas, ganaderos y forestales*
- **5.5 millones de toneladas/año** de residuos agrícolas y forestales generados en España (EUROSTAT, 2012)
- *Su **eliminación** en muchos casos **supone un problema***
- **El abandono del medio rural** hace desaparecer la discontinuidad monte-núcleo urbano (riesgo de incendio)



Biochar y el uso de enmiendas orgánicas sostenibles

Biochar e hidrochar

- ***Materia orgánica rica en C aromático producida a partir de restos vegetales en condiciones de pirólisis y que puede ser utilizada como enmienda en el suelo***



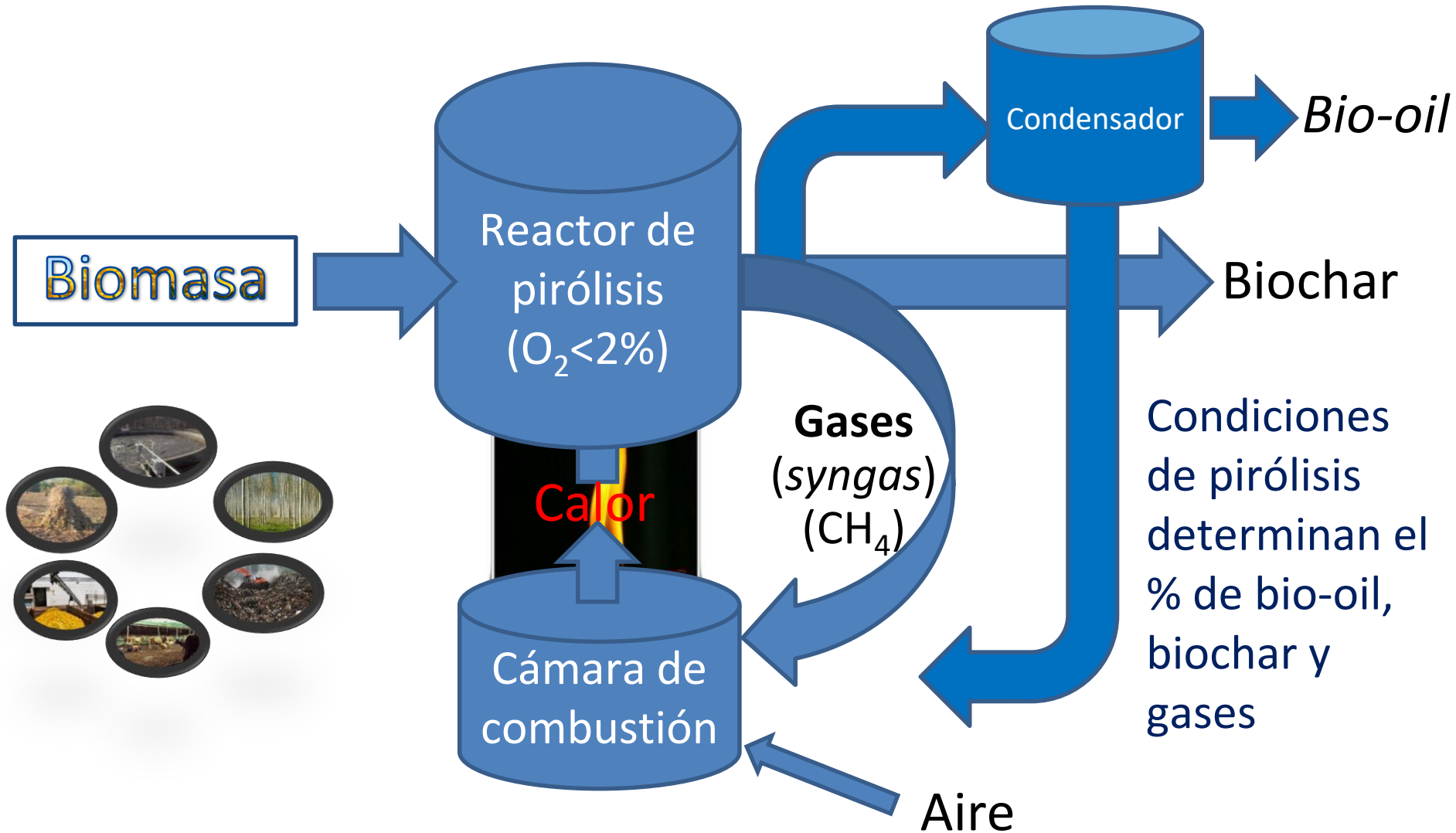
IBI



EBC



Producción de biochar (pirólisis)



Biochar ¿un producto nuevo?

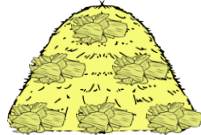
“Terra Preta de Indio”

Ferralsol



Residuos orgánicos

Restos de cultivo Desechos de alimentos



Huesos



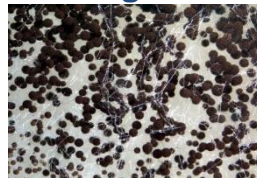
Heces



Cenizas



Microorganismos



Terra Preta



Ferralsol prácticamente improductivo

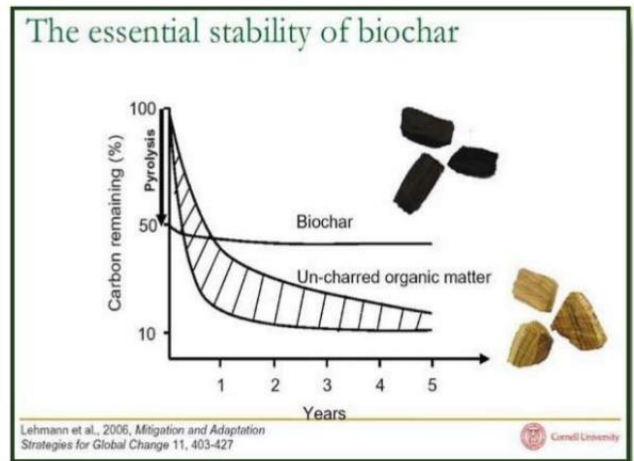
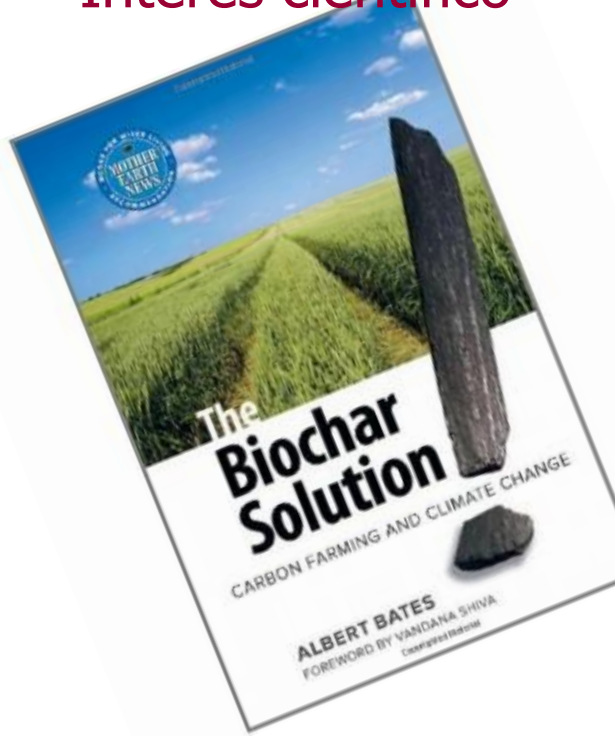
Glaser & Birk., 2012. Geochim. Cosmochim. Acta, 82, 39-51.

⇒ **Modelo de agricultura sostenible milenario**

Biochar: ¿Por qué este renovado interés?



Interés científico



Interés político y social

2009

COP15 COPENHAGE
UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE CONFERENCE

2010

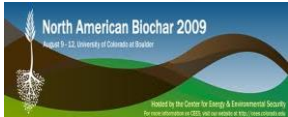
COP16 CMP6 México2010
United Nations Climate Change Conference

2015

SOLUTIONS COP21 PARIS 2015

COP17/CMP7 UNITED NATIONS DURBAN, SOUTH AFRICA

eBRN

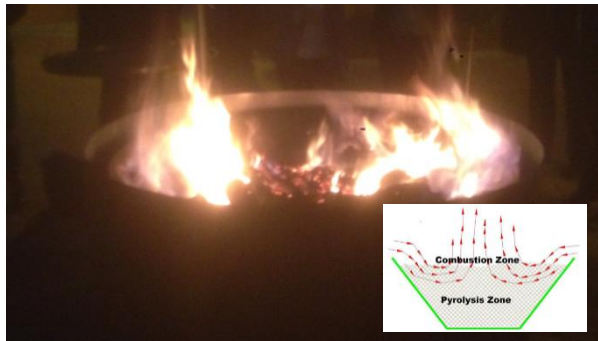


Pirólisis: Tecnología muy diversa

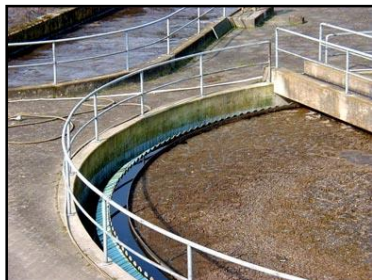


Ejemplos de reactores de bajo coste

- Sin aprovechamiento energético del “Syngas”
- Falta de control de las emisiones
- Producto final heterogéneo



Pirólisis en “vía húmeda” (hidropirólisis-HTC)

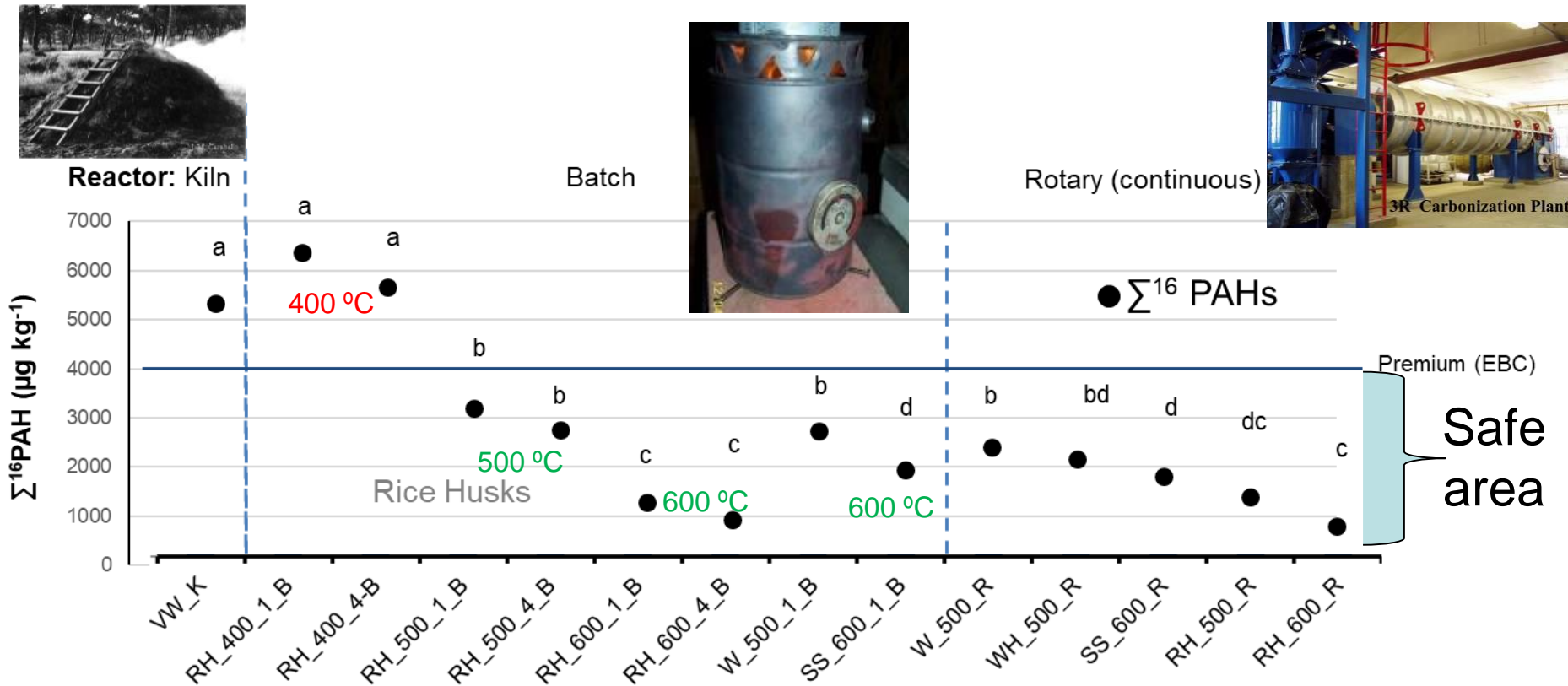


- Aplicación a muestras húmedas
- Temp. 200-300 °C
- Elevada presión
- Control de temperatura y tiempo de reacción
- Gran homogeneidad
- pH cercano a 7
- Presencia de nutrientes

- Bajo contenido en C (comparado con biochar)
- Baja aromaticidad y estabilidad
- Presencia de metales

Producción de biochar

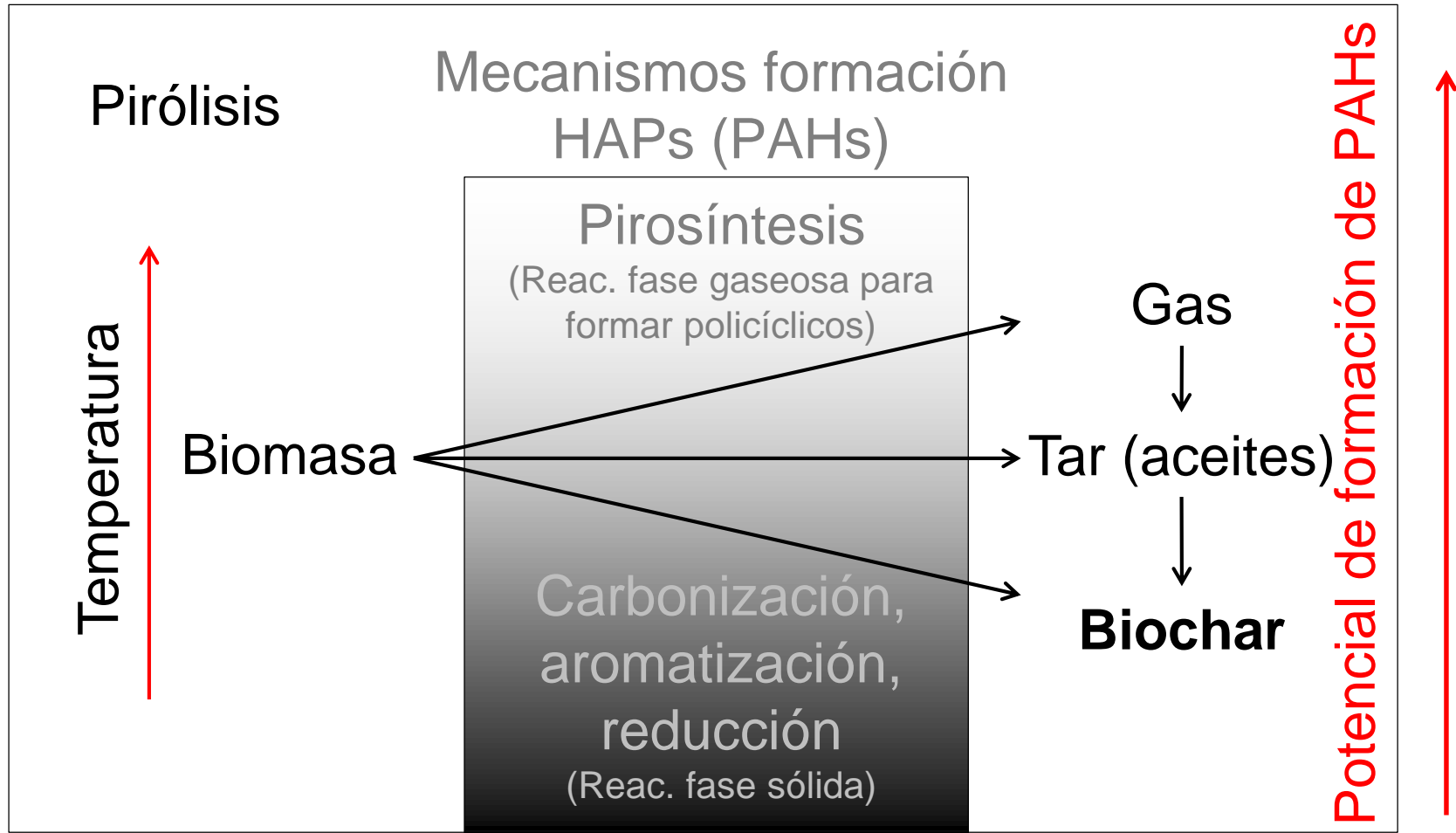
Presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) en biochar



De la Rosa et al., 2019, STOTEN

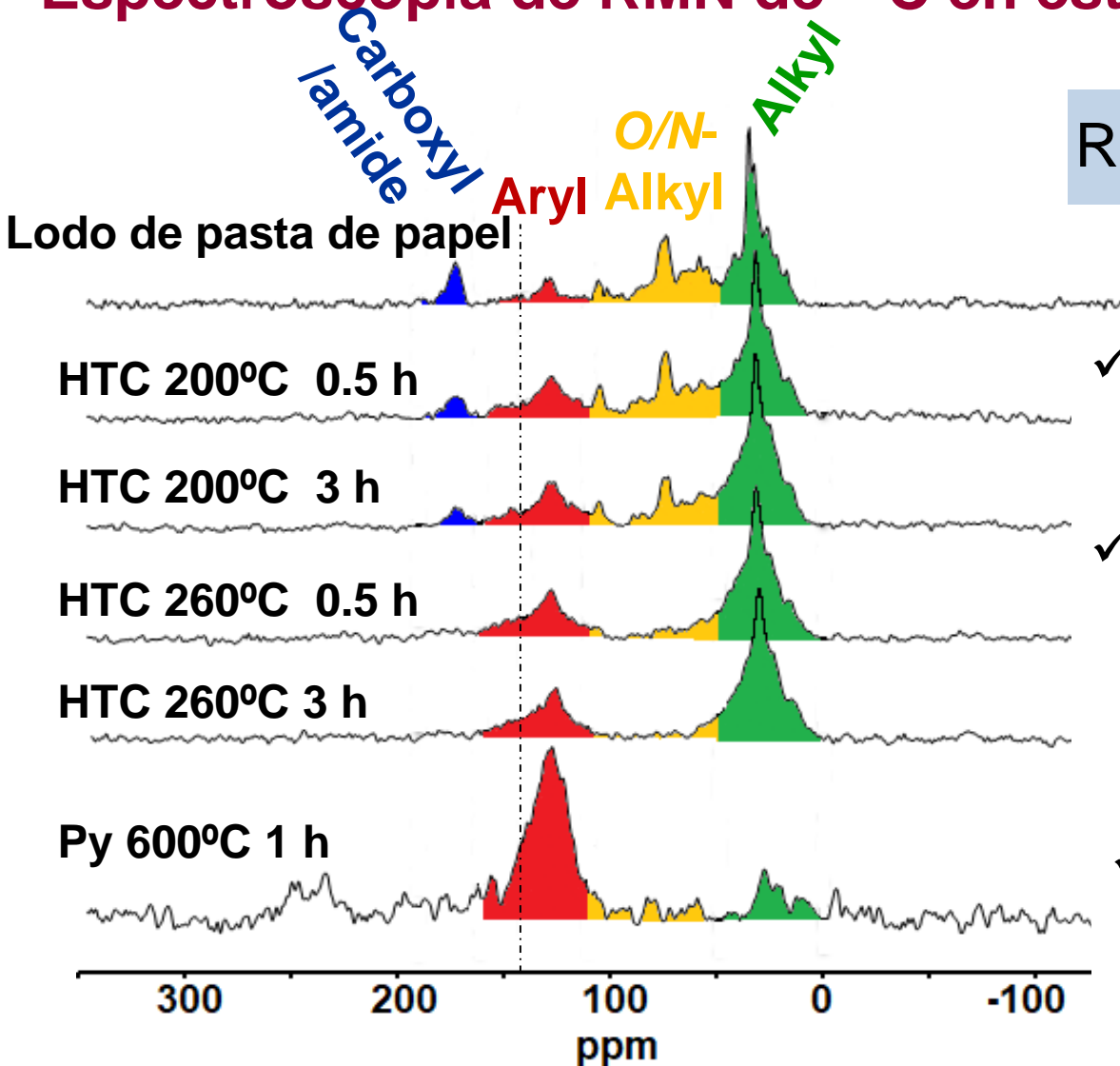
- **Influencia del tipo de reactor y condiciones de pirólisis**
- **Evitar pirólisis tradicional y tiempos de residencia prolongados**

Controlando las condiciones y la materia prima controlas el producto



Controlando las condiciones y la biomasa.....

• Espectroscopía de RMN de ^{13}C en estado sólido



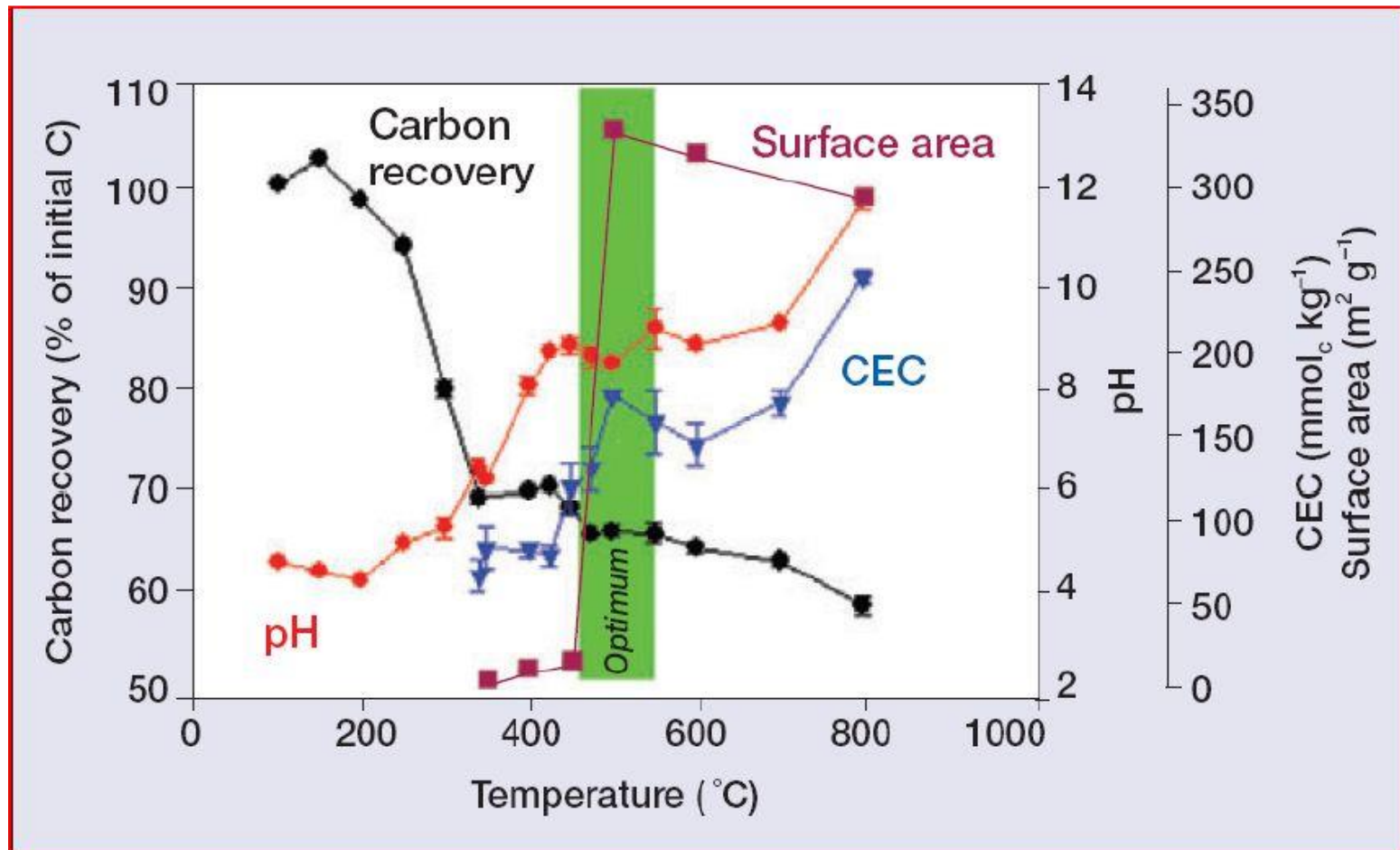
RMN de ^{13}C

✓ Hidrochars 200°C:
Sin cambios

✓ Hidrochars 260°C :
- Pérdida carboxilos/amidas
- Pérdida de carbohidratos
- Aromatización

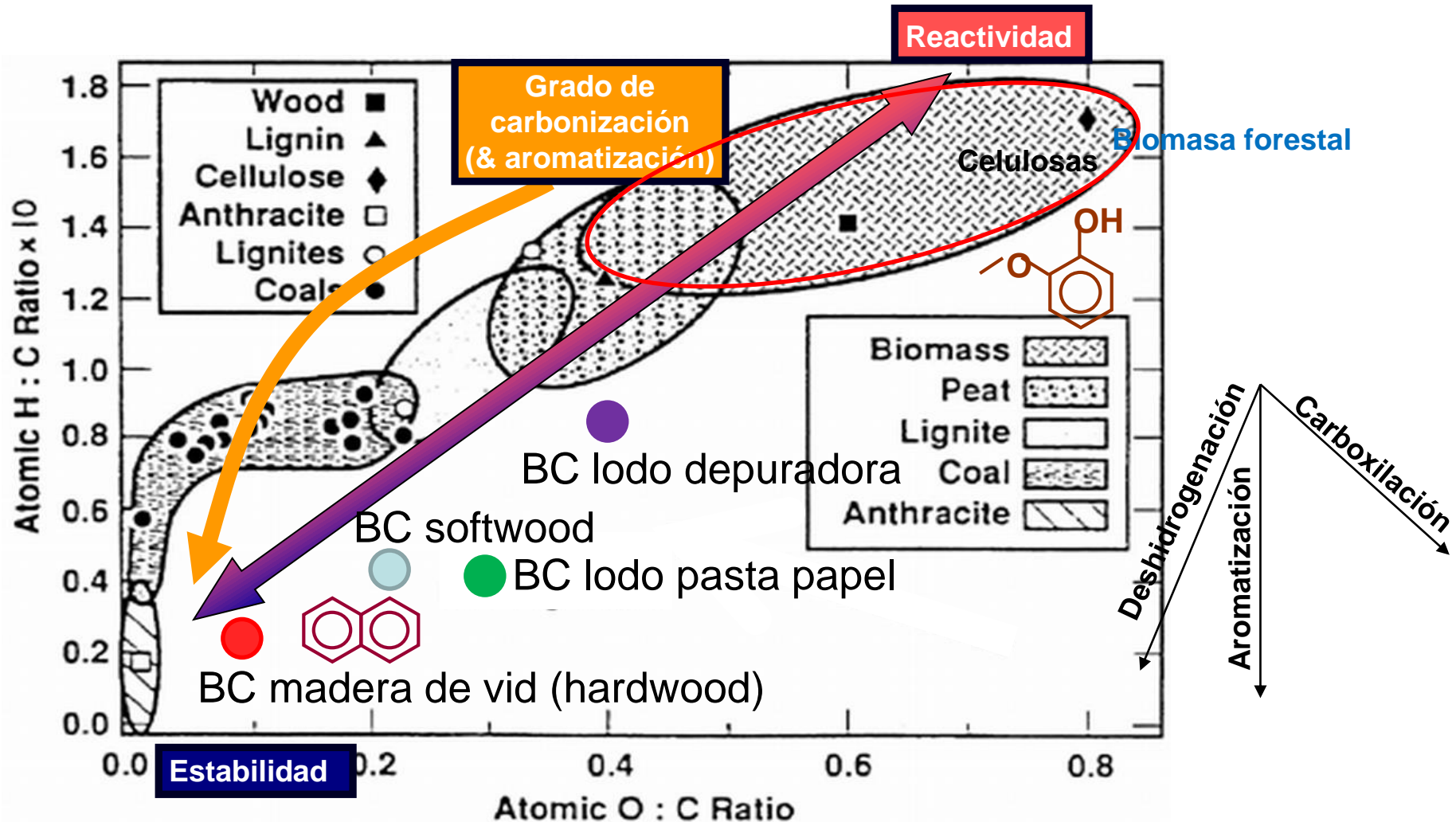
✓ Pirochar-Biochar
- Elevada aromaticidad

Posibilidad de predecir propiedades físicas



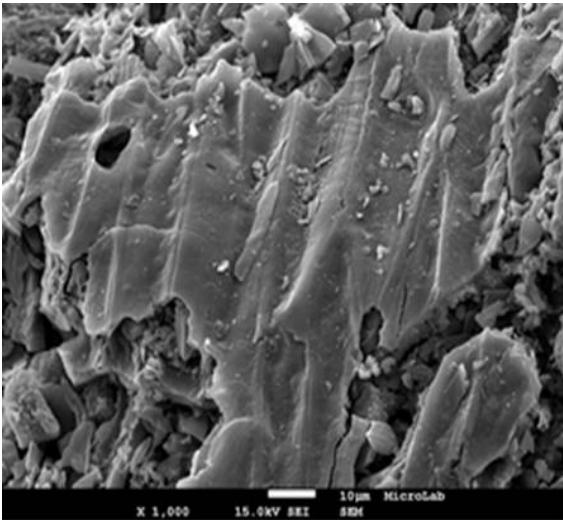
Estabilidad

- Diagramas de Van Krevelen (C, H, O)

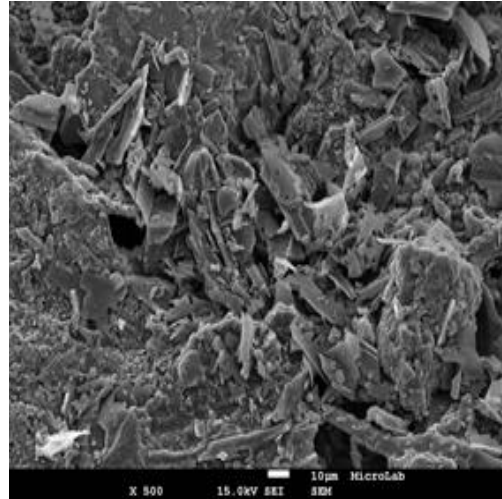


Clasificación rápida de la **reactividad y estabilidad** de los chars

Porosidad y baja densidad

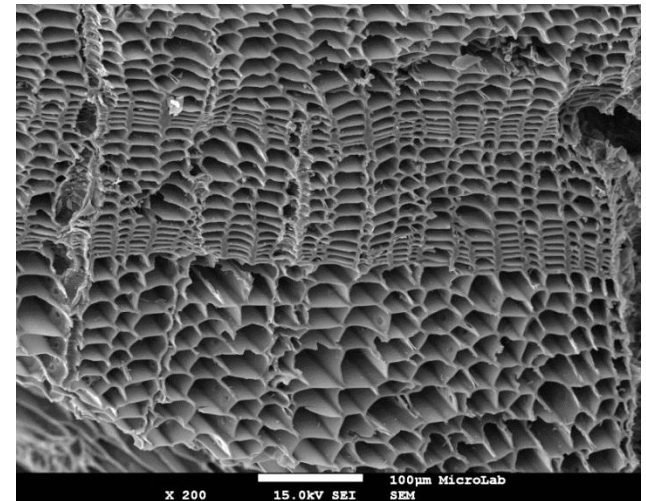


Biochar de pasta de papel



Biochar de lodo de depuradora

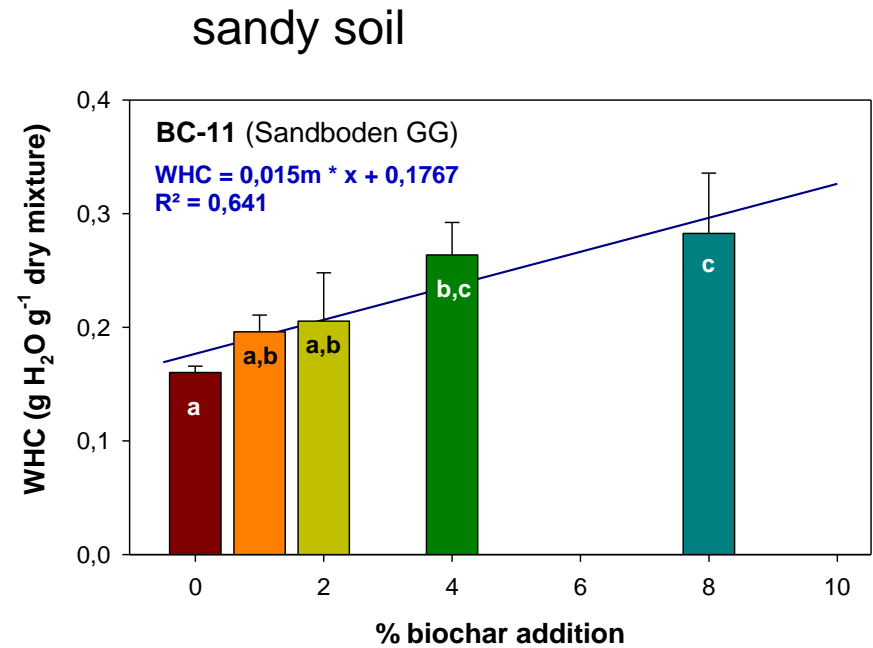
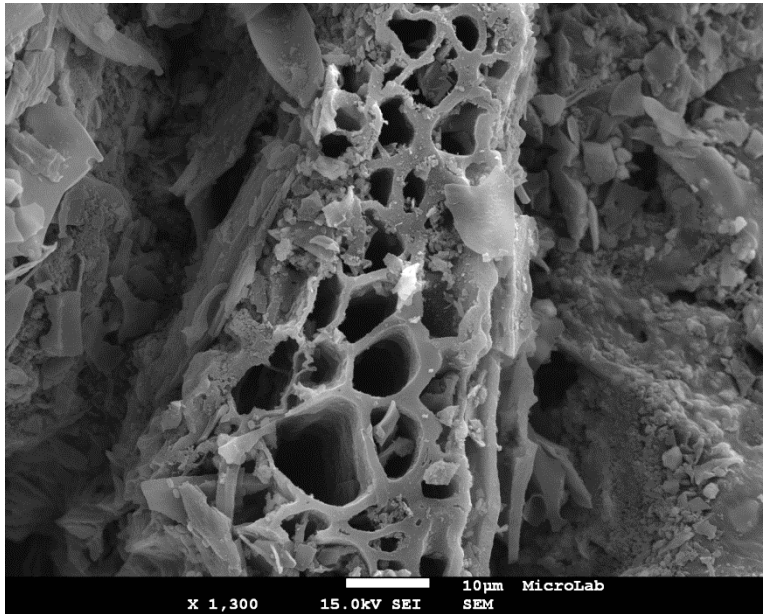
FE-SEM



Biochar de madera de pino

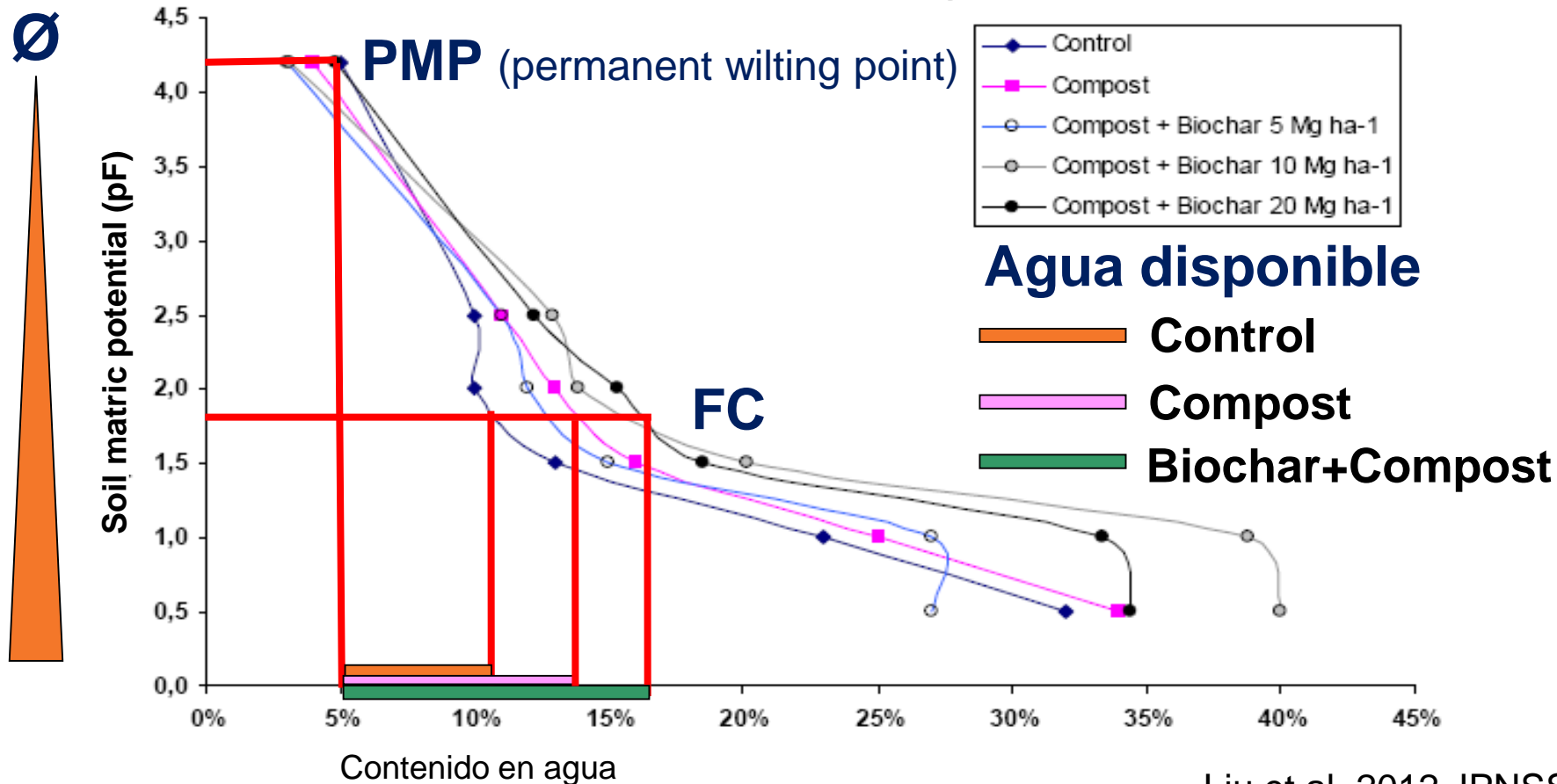
- Estructuras porosas
- Elevada retención hídrica
- Capacidad de adsorción de metales pesados (recuperación suelos contaminados; Mendez *et al.*, 2012, Chemosphere)
- Superficie específica SSA_{BET} del biochar Grado I (IBI, EBC): $150-400 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (De la Rosa *et al.*, 2014. STOTEN)

Efectos en la capacidad de retención de agua



Kammann et al, 2015

Efectos en la capacidad de retención de agua



Liu et al. 2012 JPNSS

PWP: Permanent wilting point (contenido en agua a pF 4.2)

FC: Field capacity-capacidad de campo (contenido en agua a pF 1.8)

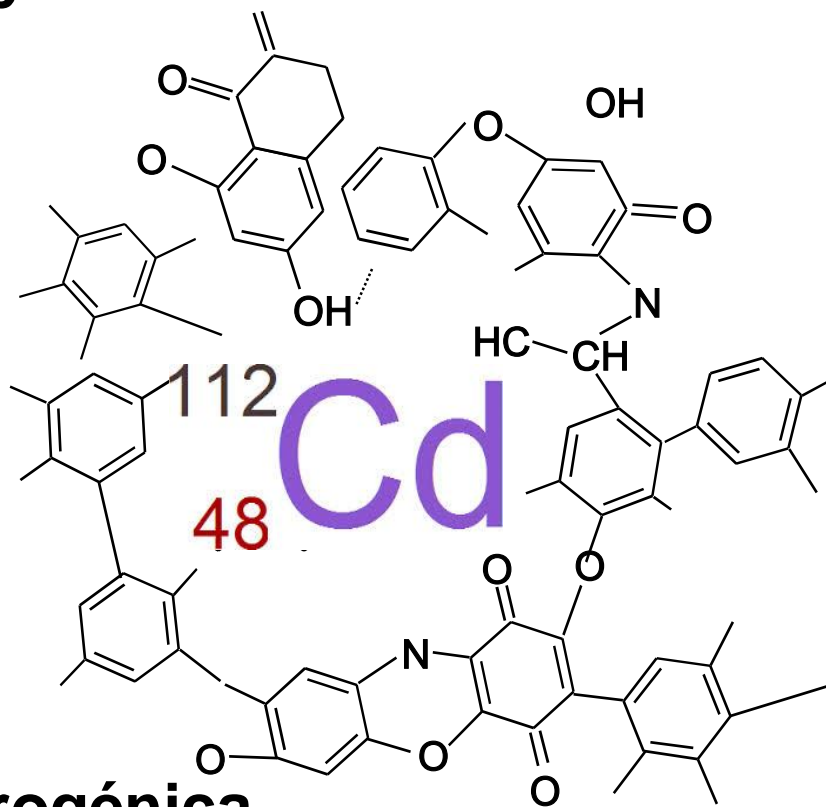
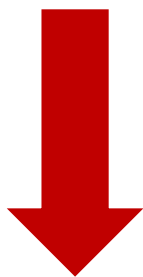
Plant-available water: Contenido en agua entre pF 1.8 y 4.2

⇒ **Biochar X 2 la cantidad de agua disponible en el suelo**

Elevada capacidad de adsorción

Contaminantes persistentes y biochar

Potente capturador de metales pesados y compuestos aromáticos condensados (incluyendo PAHs)



- Alta estabilidad de la MO pirogénica.
- Reduce disponibilidad de los contaminantes.
- Usar valores disponibles en lugar de concentraciones totales.

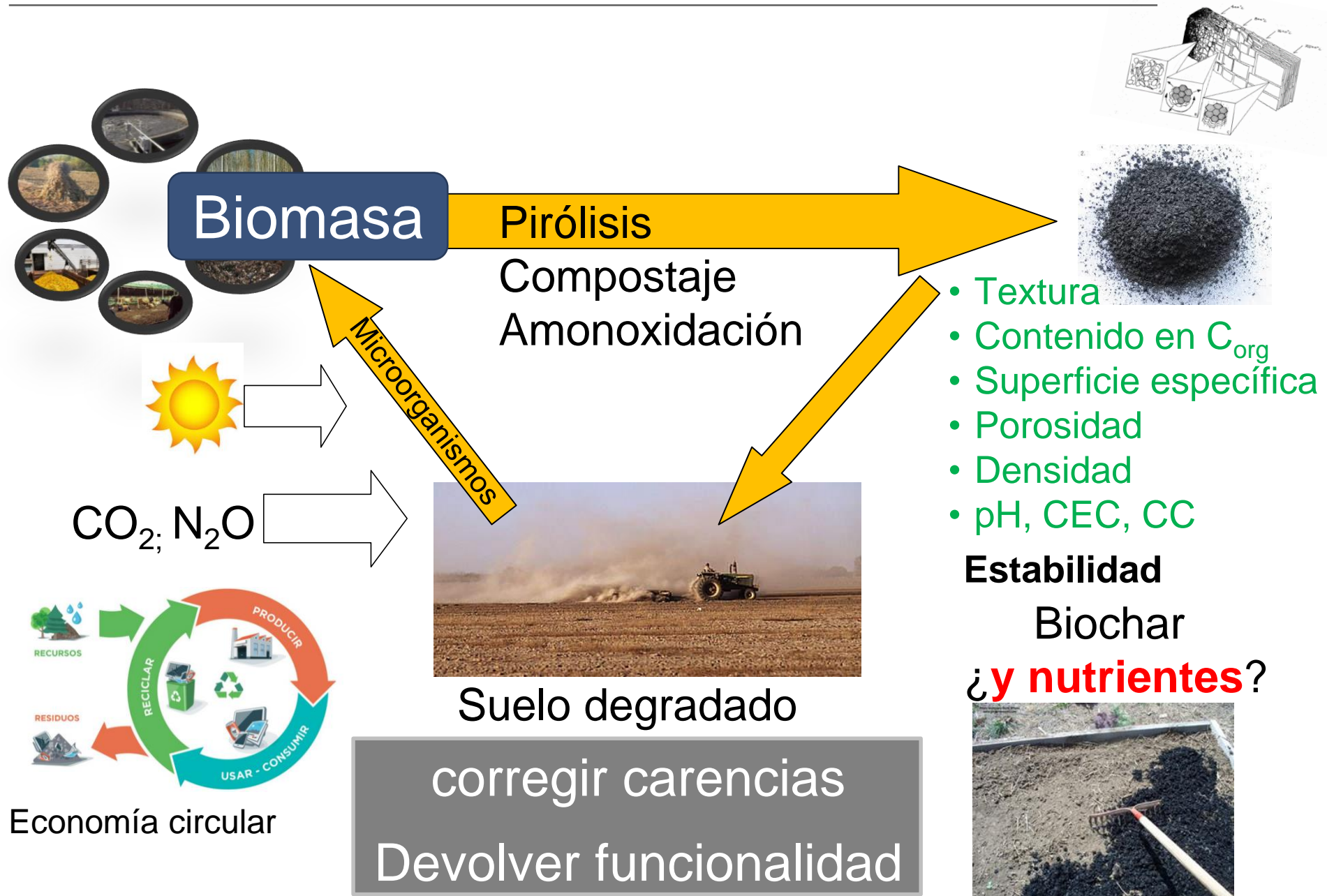
Enmienda a la carta (composición y propiedades)



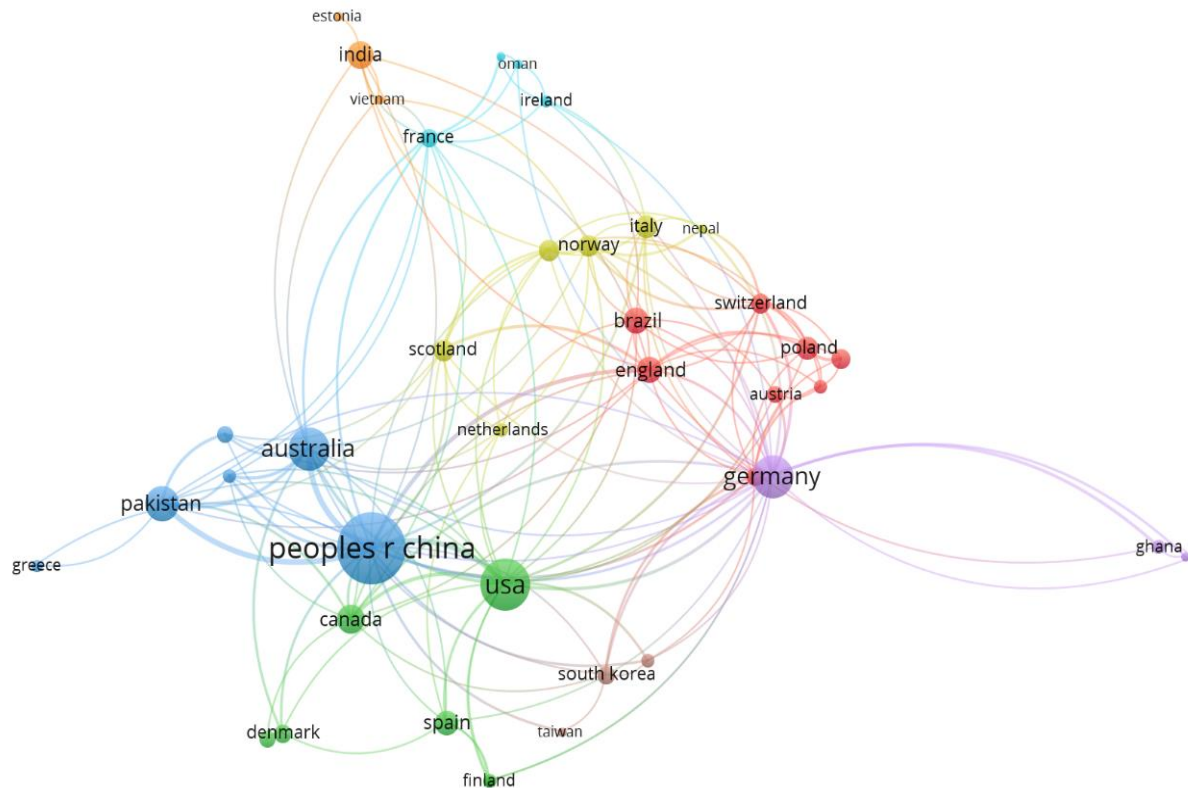
Control del producto (calidad, trazabilidad y seguridad)

- Condiciones del proceso determinan las propiedades
- Optimizar propiedades de interés agronómico

Hipótesis

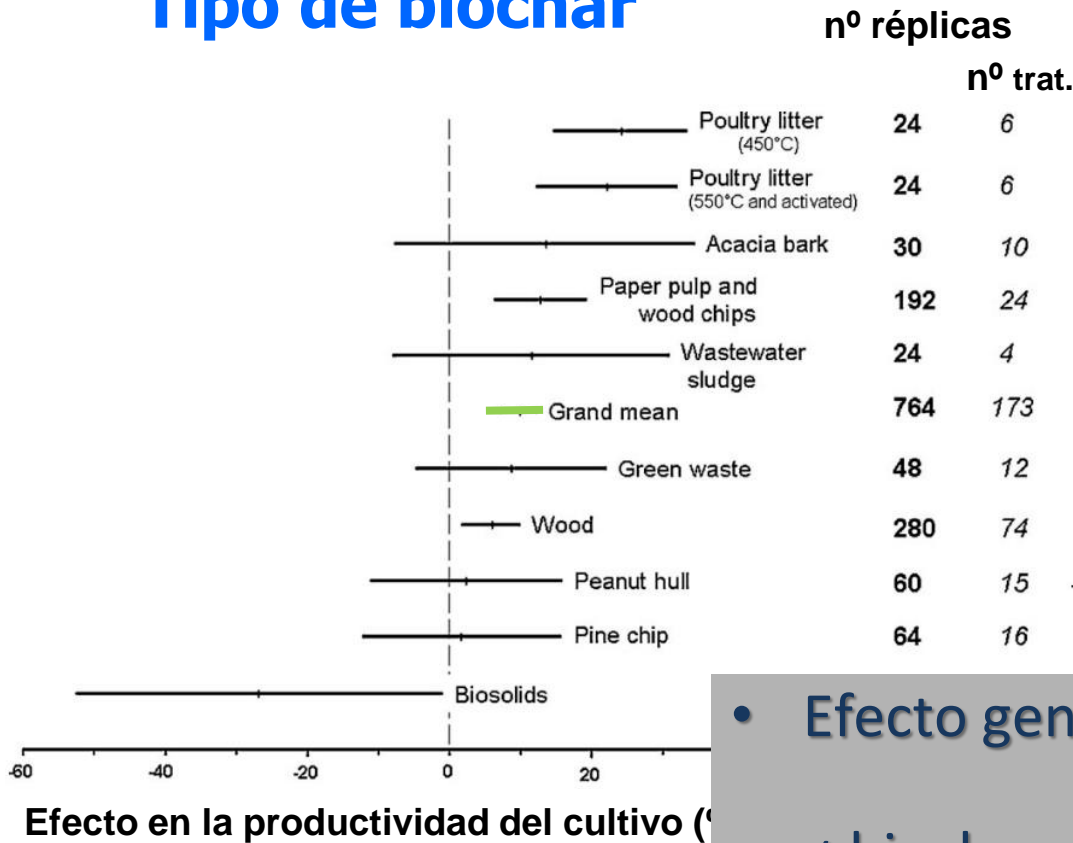


- Datos mayoritariamente de China, EEUU, Norte y Centro de Europa

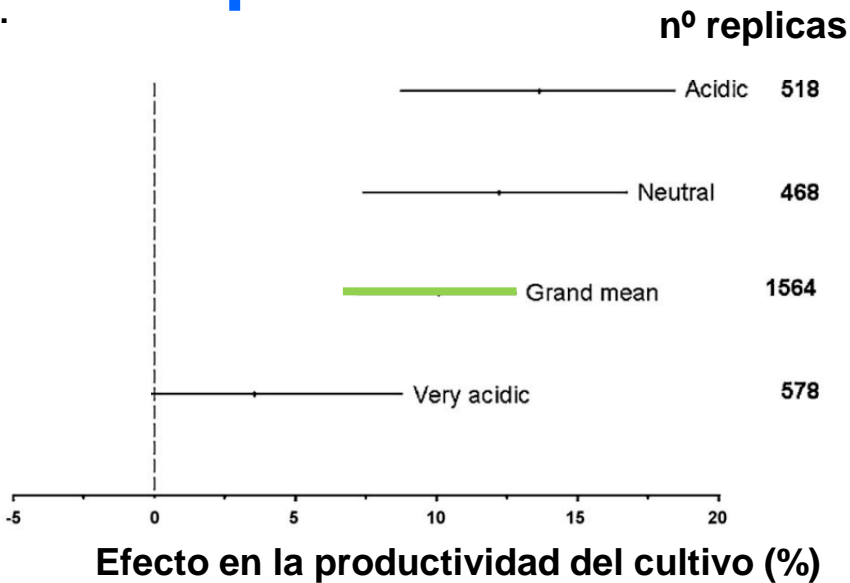


Productividad: Meta-análisis

Tipo de biochar

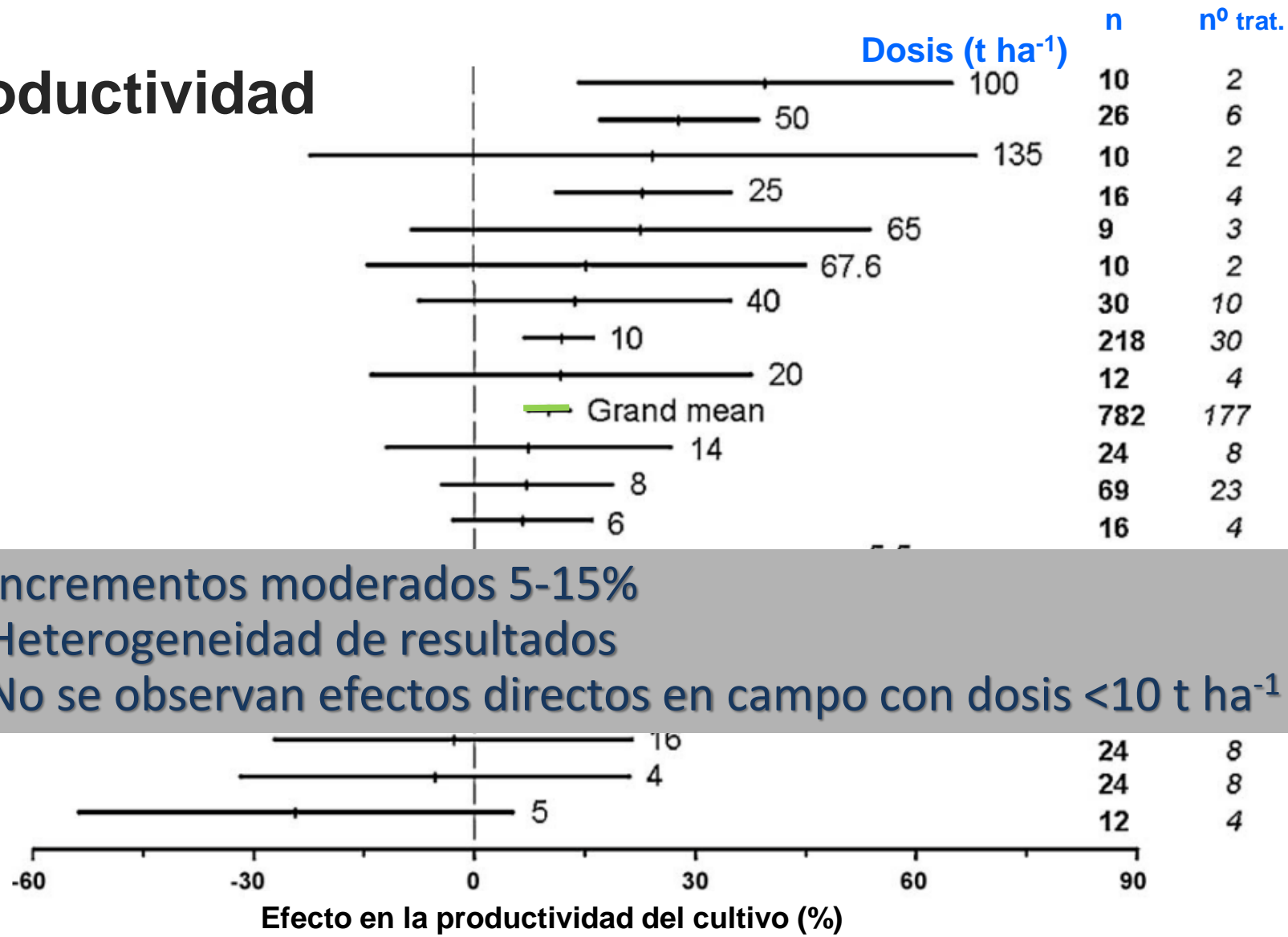


pH del suelo

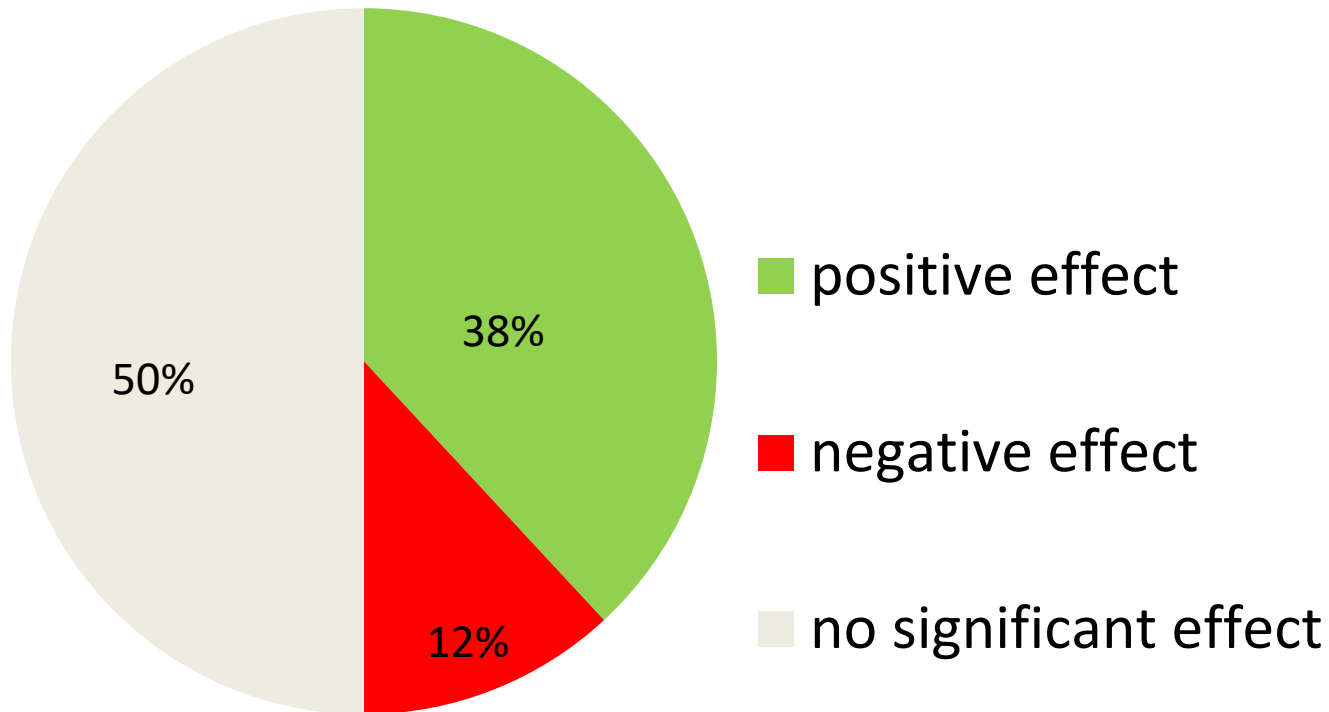


- Efecto generalmente beneficioso pero...
- ≠ biochar → ≠ productividad
- Escasez de datos en suelos alcalinos

Productividad



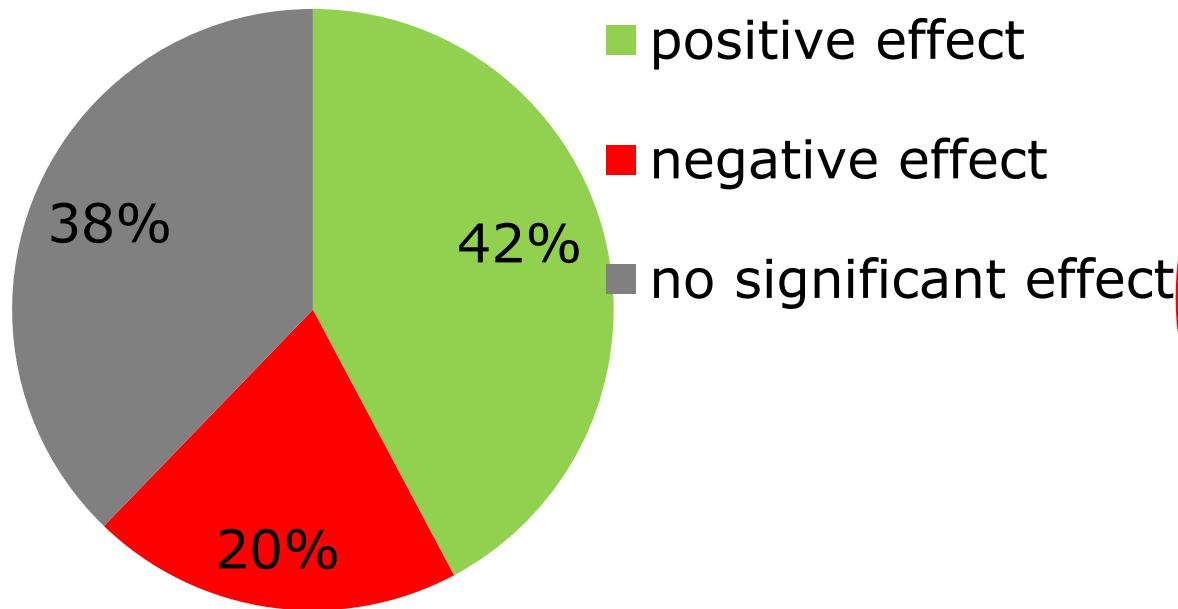
Crecimiento (planta y fruto)



- **Aprox. 40 % efectos positivos en prod. agronómica**

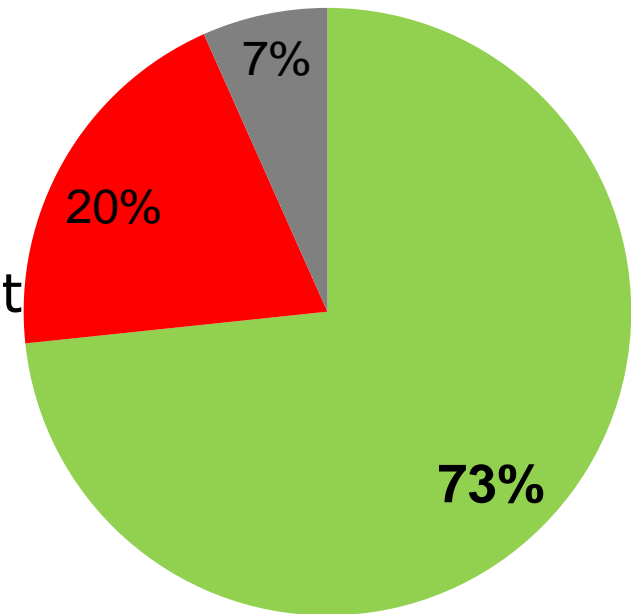
Emisiones de gases de efecto invernadero (GHGs)

CO₂ ($n = 45$)



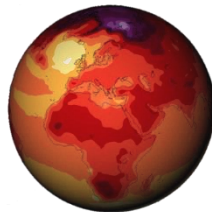
Biochars no estables pueden incrementar las emisiones de CO₂
(priming effect)

N₂O ($n = 30$)



Excelentes resultados reduciendo las emisiones de N₂O

N₂O tiene un GWP 273 veces el del CO₂



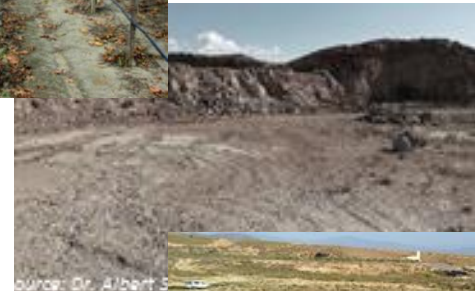
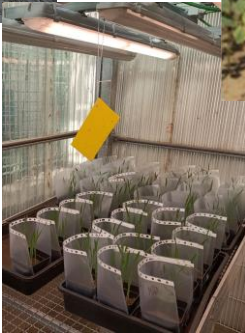
- **Datos mayoritariamente de China, EEUU, Norte y Centro de Europa**
- **Pocos ensayos de campo a largo plazo**
- **Buena respuesta en suelos de textura gruesa**
- **Mejora la estructura de suelos pobres en MO (pero se desconocen los mecanismos)**
- **Buena respuesta suelos ácidos (pocos datos para suelos alcalinos),**
- **Productividad decae con biochars de lodos**
- **Escasez de datos sobre efectos en los microorganismos del suelo**



4

Casos de estudio bajo condiciones de clima Mediterraneo

- I. Recuperación de suelo contaminado con metales pesados
- II. Aplicación a cebada y girasol (suelo calcáreo; seco)
- III. Aplicación a trigo (suelo salino)
- IV. Aplicación a olivar super-intensivo (suelo alcalino)
- V. Aplicación a viñedo (Sonoma, California)
- VI. Tecnosuelos

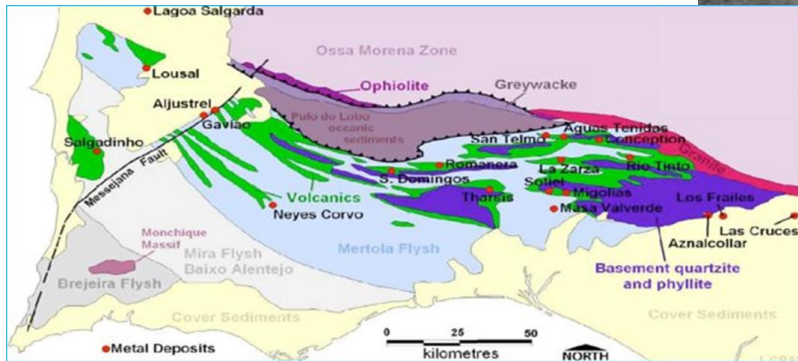


I. Recovery of heavy metal polluted soils

The Aznalcóllar Mine accident

25th April 1998 (3:30 am)

- 4 millions m³ acidic water
- 2 millions m³ toxic mud



Location:

- Iberian Pyrite Belt (SW Spain-Portugal)
- Aznalcóllar (30 km from Seville)



I. Recovery of heavy metal polluted soils



Height reached
by the toxic flood



pH 2.5

Junta de Andalucía

Agua estancada en el cauce del río Guadamar, junto a Sanlúcar La Mayor. pH = 3,5 4/9/98
La zona negra del tronco del árbol, en el centro de la foto, marca la altura alcanzada por la riada tóxica.

Total surface affected: >4000 ha

400 m at both sides of the river

Mud: 40 km down river

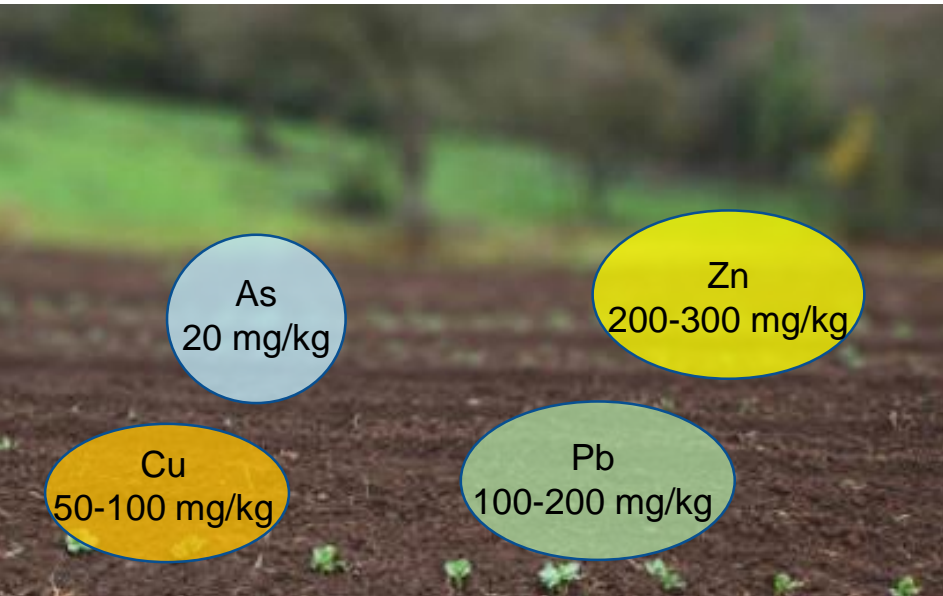
Water: 60 km down river



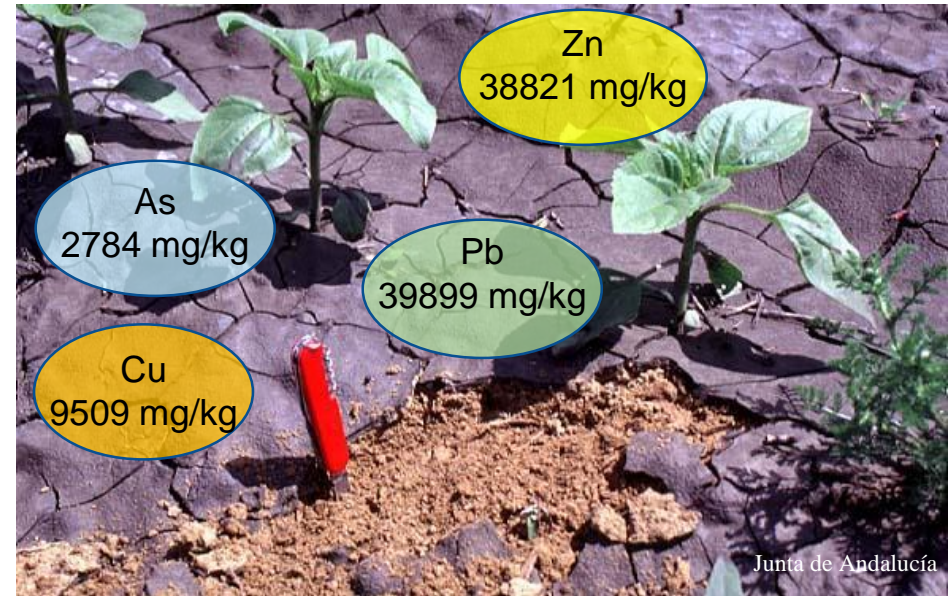
200 mill € of cleaning costs
About 200 ha of land still polluted



I. Recovery of heavy metal polluted soils



Reference concentrations for agricultural soils



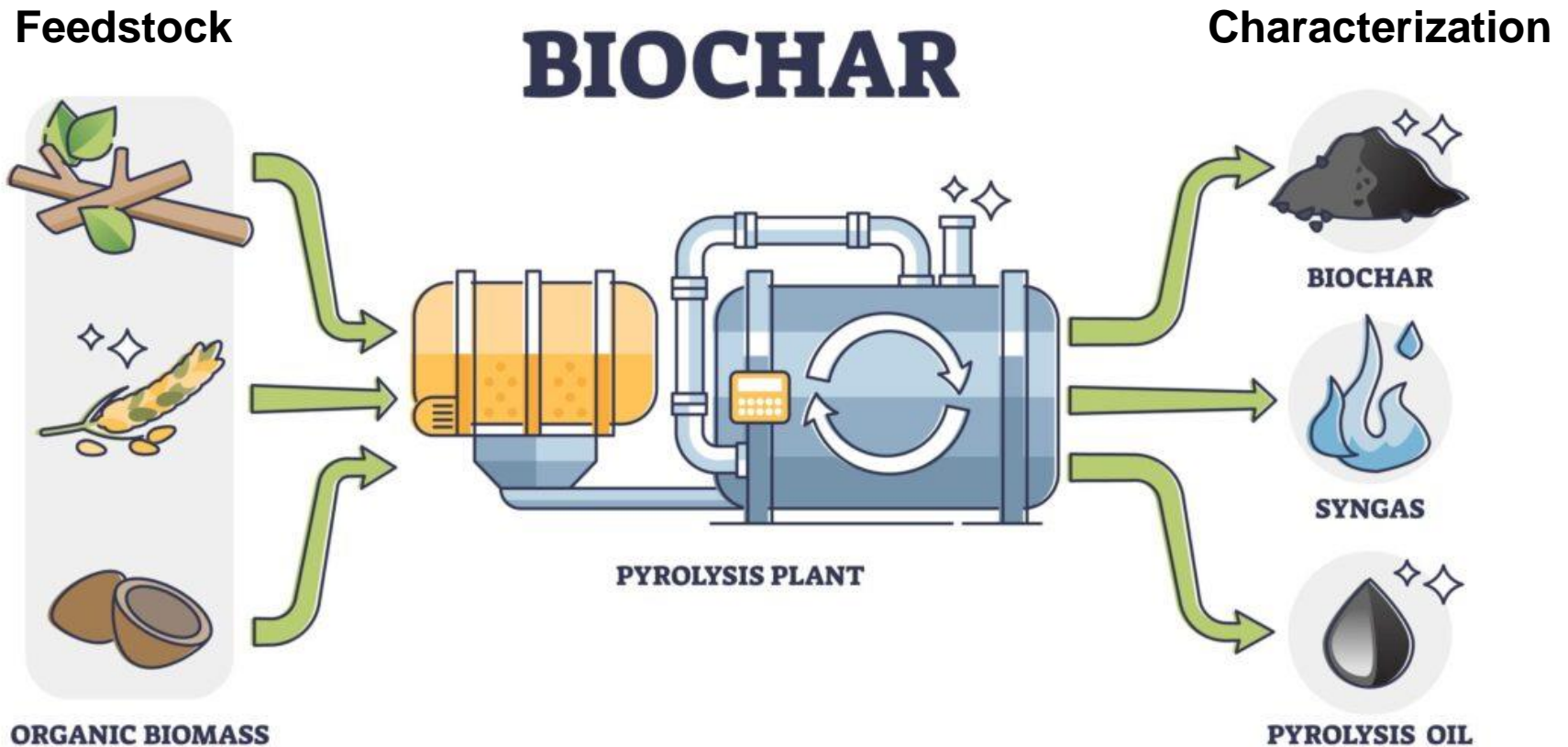
Concentrations of trace elements at the Toxic mud

Arenas et al. (2001)



I. Recovery of heavy metal polluted soils

Application of biochar to post-mining/spill management



I. Recovery of heavy metal polluted soils



Analytical Characterization

pH, EC

Density

WHC

Aromaticity

Hidrofobicity

Ash content

C, N, H, and organic components

I. Recovery of heavy metal polluted soils

Local agro-residues



**Rice husk
(RH)**



**Olive waste
(OB)**



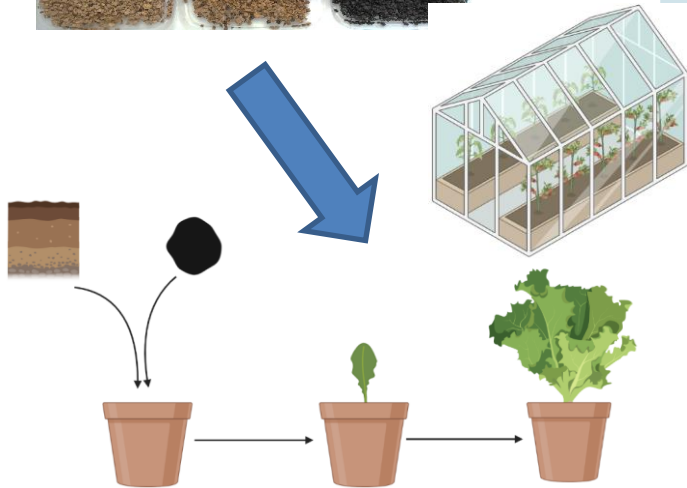
Olive pit (OP)



Biochar from local agro-residues as Organic amendments

High OC (50-60%) , pH 9.5, WHC 140% ; Stability; Porosity SSA-BET ≥ 400 m²/gr

I. Recovery of heavy metal polluted soils



Select: Dose, amendment

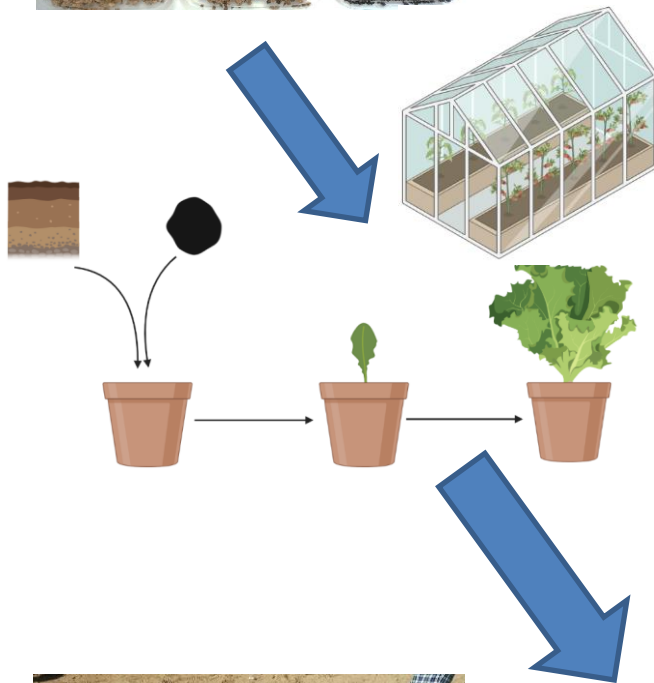
Analytical Characterization

pH, EC
Density
WHC
Aromaticity
Hidrofobicity
Ash content
C, N, H, and organic components

Greenhouse tests

Germination tests
Heavy metals speciation
Plant development
Toxicity
Food safety
Microbial population
Stability (CO ₂ ; Enzymatic activity; Thermal analyses)

I. Recovery of heavy metal polluted soils



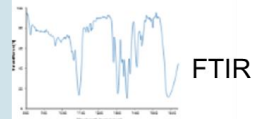
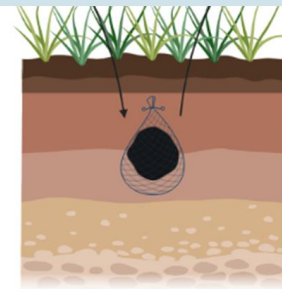
**Field application
-Monitoring**

Analytical Characterization

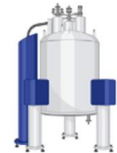
pH, EC
Density
WHC
Aromaticity
Hidrofobicity
Ash content
C, N, H, and organic components

Greenhouse tests

Germination tests
Heavy metals speciation
Plant development
Toxicity
Food safety
Microbial population
Stability (CO ₂ ; Enzymatic activity; Thermal analyses)



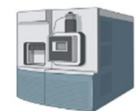
FTIR



¹³C NMR



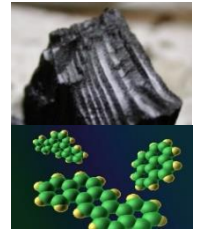
FESEM



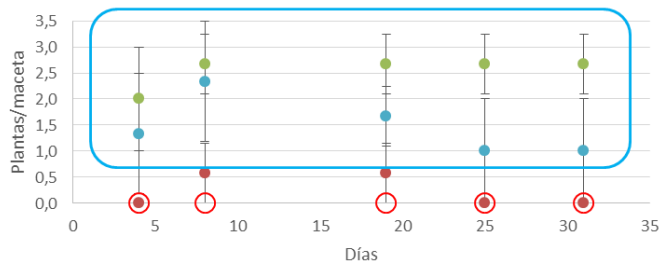
ICP-OES

I. Recovery of heavy metal polluted soils

- **Soil: Typic Xerofluvent polluted with heavy metals** (acid pH)
- Location: Sanlucar la Mayor (Sevilla)
- Crop: *Brassica Rapa Pekinensis* (under greenhouse)
- Amendment: Rice husk and olive pit biochars (500 °C; 2, 5 and 10%)

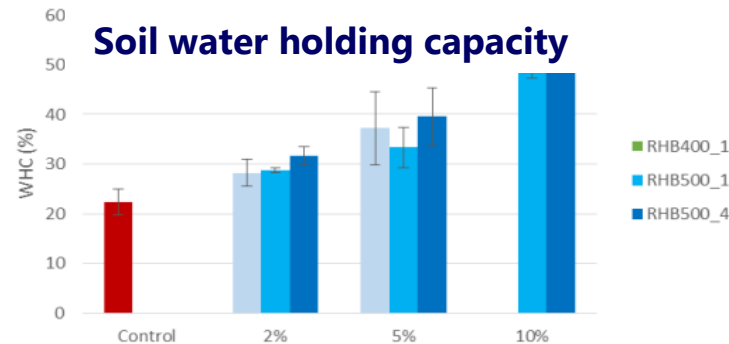


Germination rates



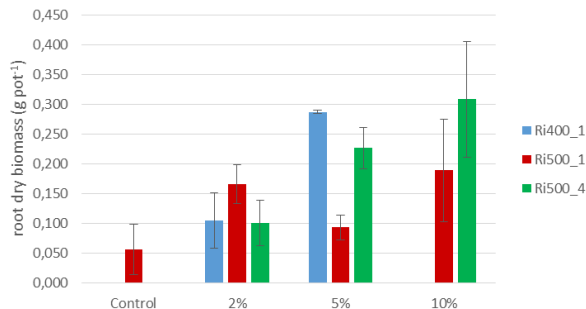
○ Control ● 10% Ri500_1 ● 5% Ri500_4 ● 10% Ri500_4

Greenhouse application

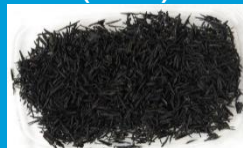


Root development

RS—Biochar cascarilla de arroz



Rice husk
(RH)



Olive pruning
biomass (OB)

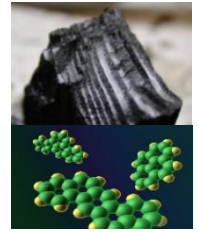


Olive pit
(OP)



I. Recovery of heavy metal polluted soils

- **Soil: Typic Xerofluvent polluted with heavy metals** (acid pH)
- Location: Sanlucar la Mayor (Sevilla). Field experiment.
- Amendment: Rice husk and olive pit biochars (500 °C; dose: 8 t/ha)



Rice husk
(RH)



Olive pit (OP)

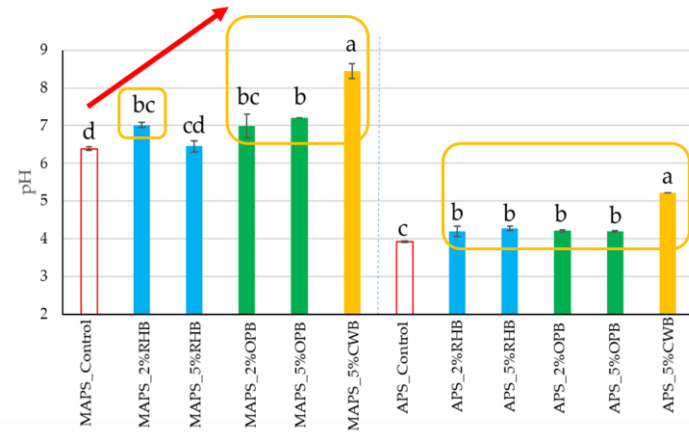


Field application



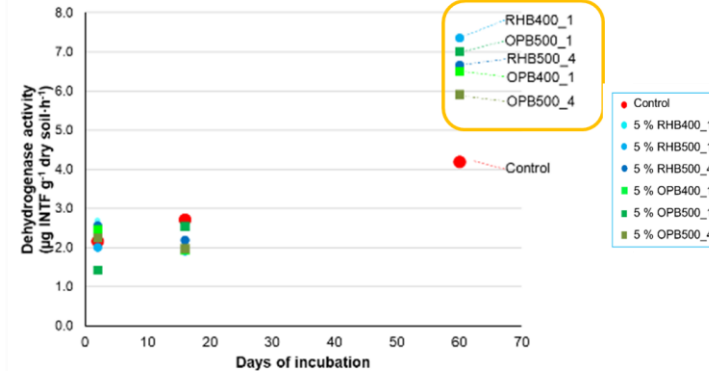
I. Recovery of heavy metal polluted soils

Field application



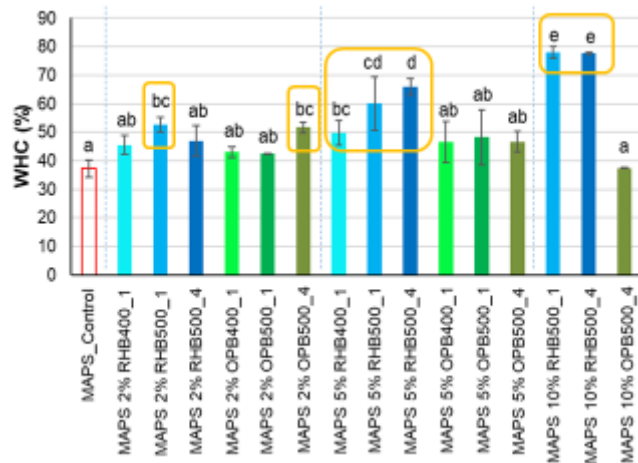
Increase of soil pH

a) Dehydrogenase activity in Moderately Acidic Polluted Soil



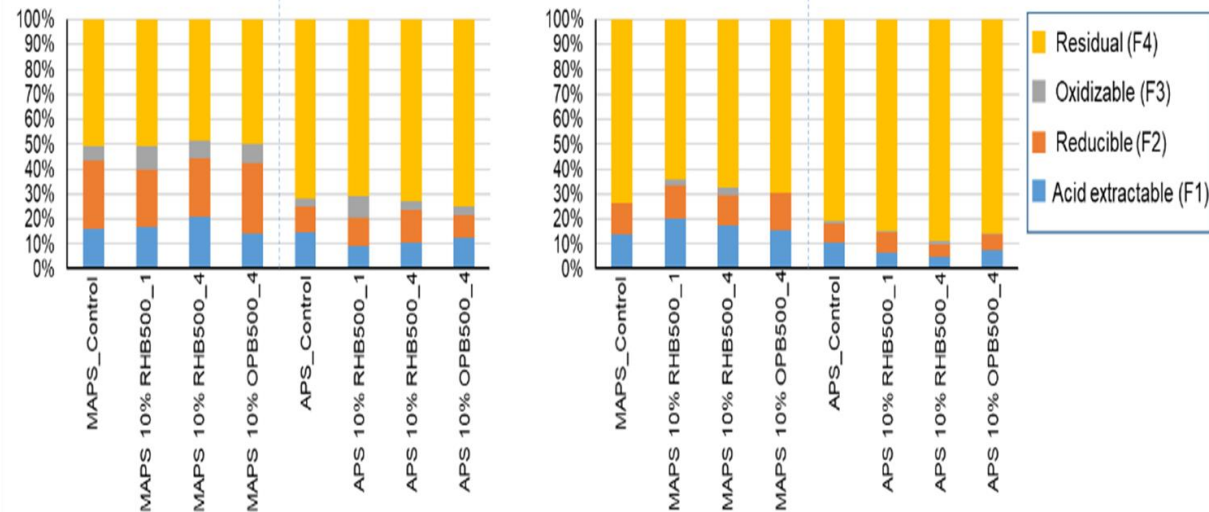
Increase of enzymatic activities

b) Cd at day 5



Increase of soil WHC

g) Cd at day 65



Significant reduction of available trace elements

I. Recovery of heavy metal polluted soils

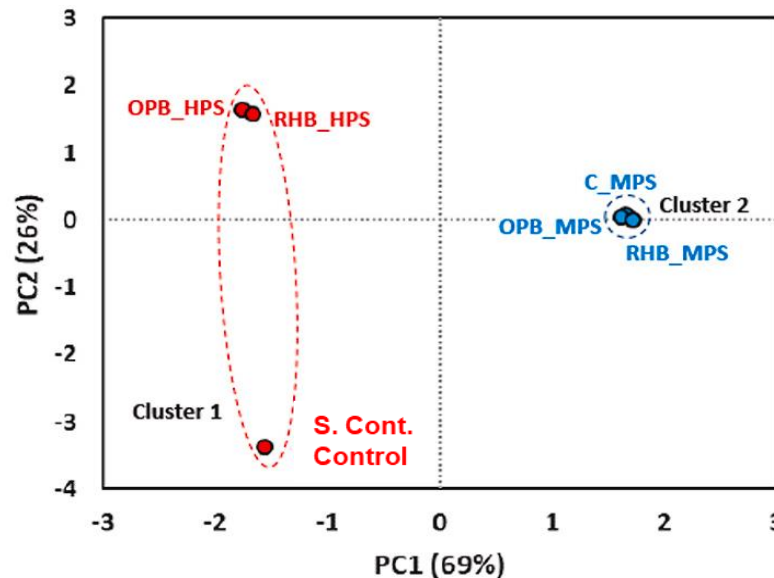
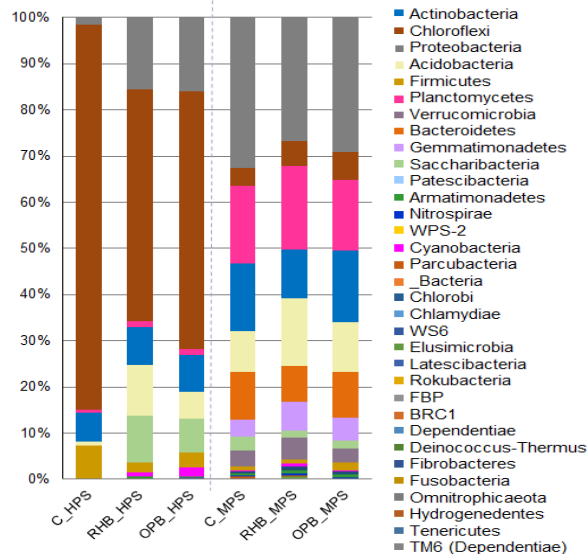


1998



2018

a) t_6



2020

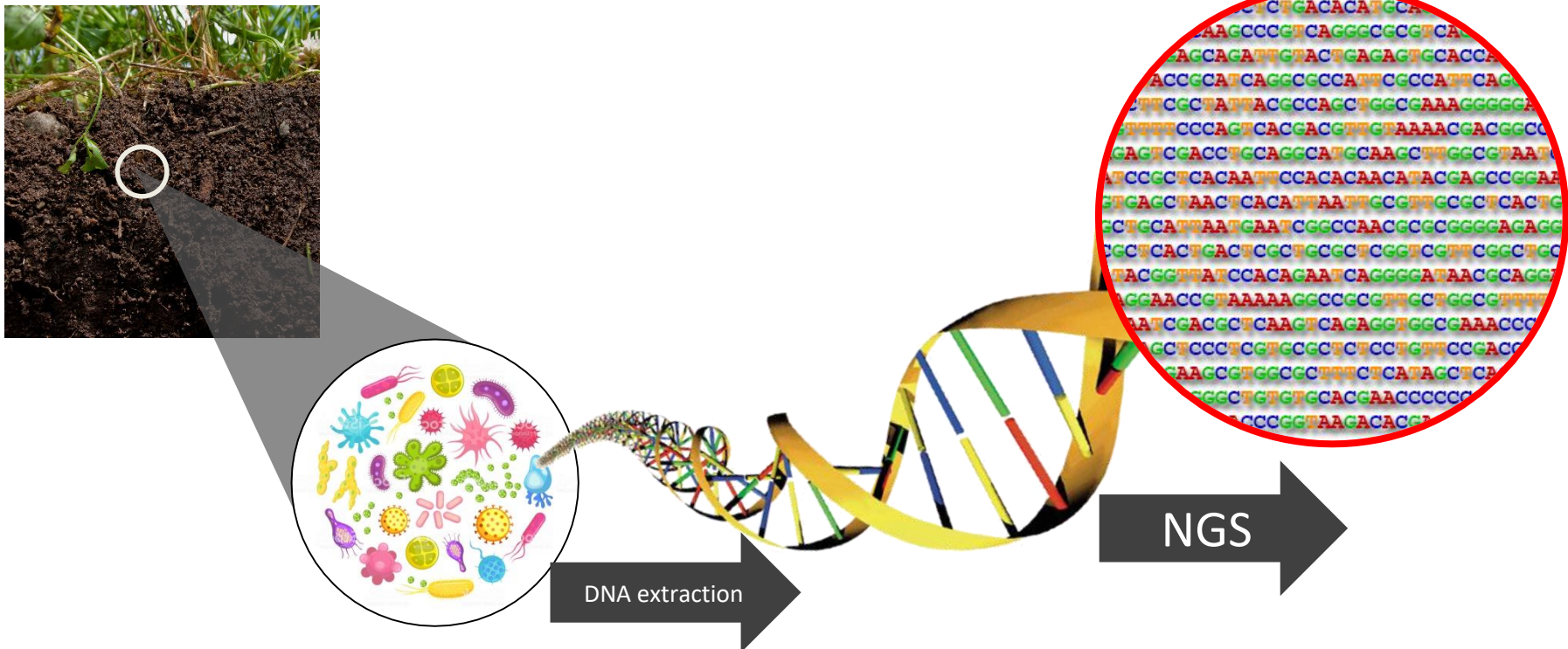
Campos et al., 2020. SBB

- Natural recovery of vegetation cover and soil functions
- Biochar modified bacterial population (OTUs)
- Chloroflexi** (extremophiles-acid pH environment) decreased drastically at highly polluted soils
- Proteobacteria** (N fixation), **Nitrospirae** (nitrite to nitrate oxidizing bacteria) increased

I. Recovery of heavy metal polluted soils

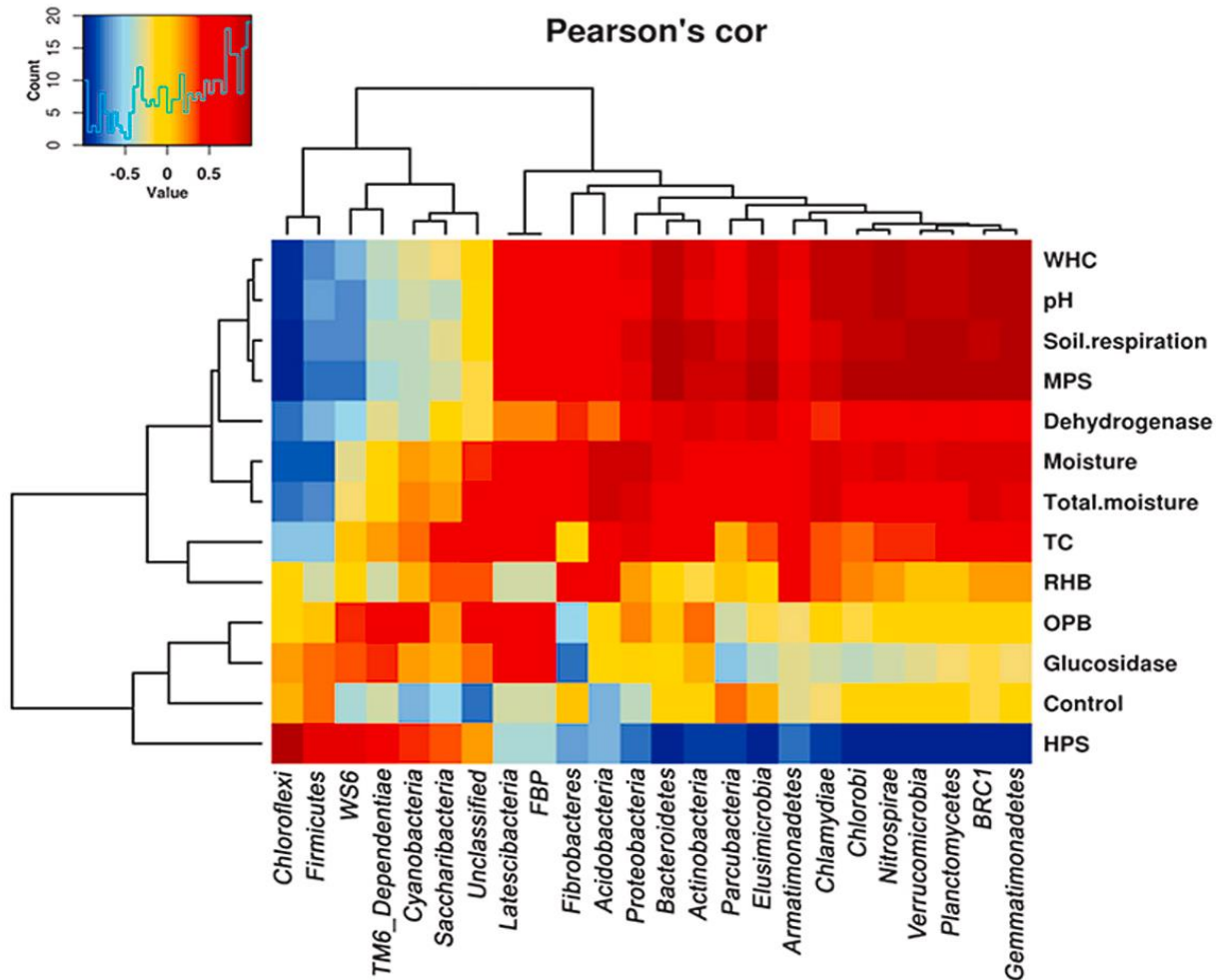
Massive Sequencing Techniques— *Illumina Miseq*

METAGENOMIC



- 50 ng of DNA

I. Recovery of heavy metal polluted soils



Campos et al., 2020. SBB

Bacterial population (phyla) related to changes in soil properties and composition (effect of biochar application)

II. Aplicación de biochar en suelos cálcicos

Condiciones clima mediterráneo

- **Propiedades suelo**
- **Fisiología vegetal**
- **Productividad**



II. Aplicación de biochar en suelos cálcicos

Condiciones clima mediterráneo

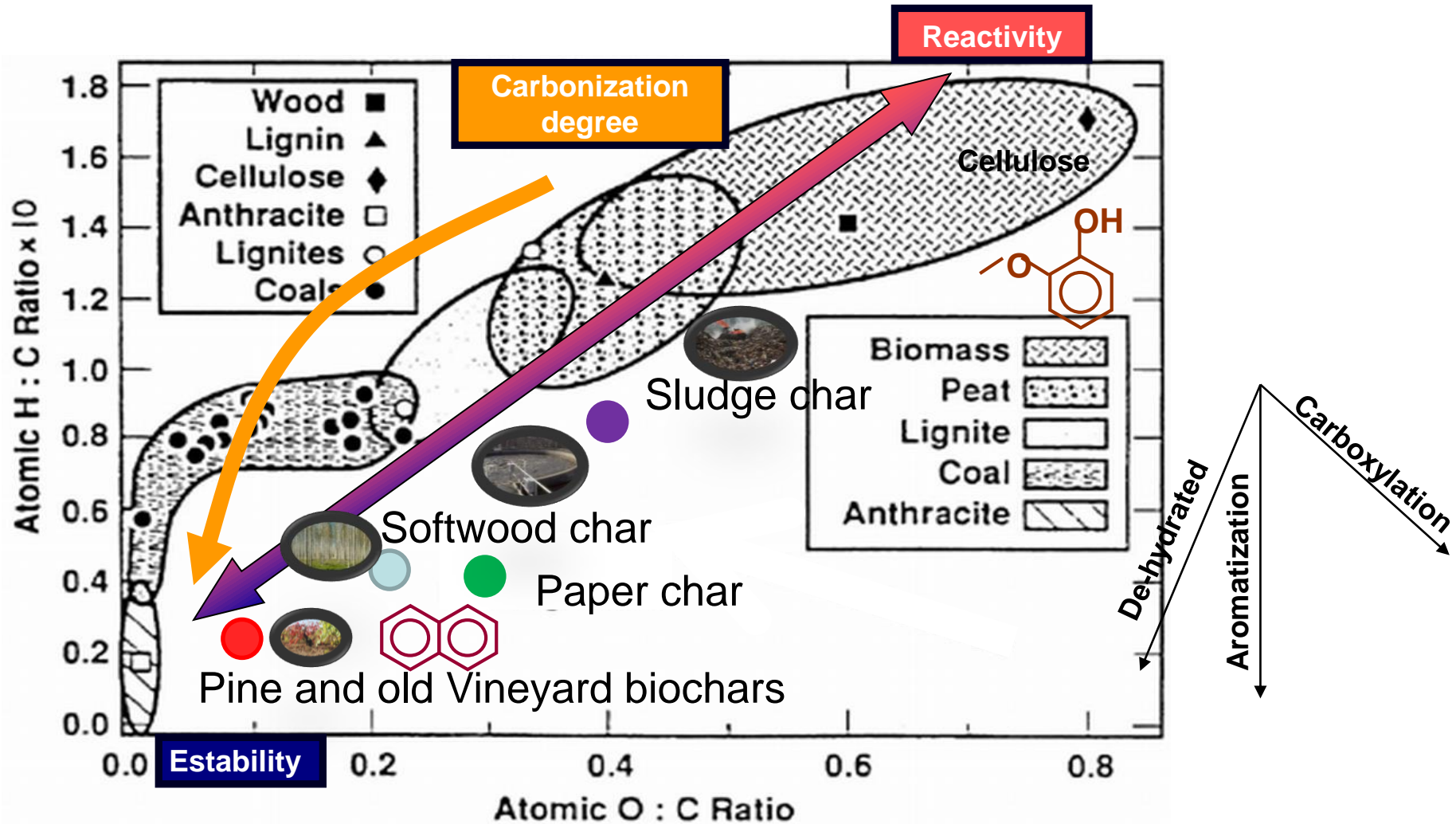


	Biochar 1	Biochar 2	Biochar 3	Biochar 4
Productor	Swiss Biochar, Laussane, Suiza	Sonnenerde, Austria	Pyreg, Alemania	Bodegas Torres, España
Materia prima	Madera de pino reciclada	Lodos de pasta de papel	Lodos de depuradora	Madera de vid (pirólisis tradicional)
Contenido de C (g kg⁻¹)	757	509	179	764
pH (H₂O)	9.8	9.9	6.8	10.1
WHC^a (%)	266± 16	233± 14	27± 5	178± 17
SSA_{BET}^b (m² g⁻¹)	407.2± 5.2	116.9± 2.0	67.3± 1.3	≤ 5

a) WHC: Water holding capacity; b) SSA: Specific Surface Area according to Brünauer-Emmett-Teller (BET) equation

II. Aplicación de biochar en suelos cálcicos

- Van Krevelen diagrams (C, H, O) (Stability Vs. Functionality)



II. Aplicación de biochar en suelos cálcicos

- **Suelo: Calcic Cambisol** (pH 7.8, TOC 0.7%)
- Localización: Coria del Río (Sevilla)
- Cultivo: Cebada y girasol
- Biochar: 4 tipos a partir de residuos orgánicos

Cebada

(Biochars 0, 10, 20 y 40 t/ha); Experimento de invernadero

De la Rosa et al., 2014. Sci. Total Env.



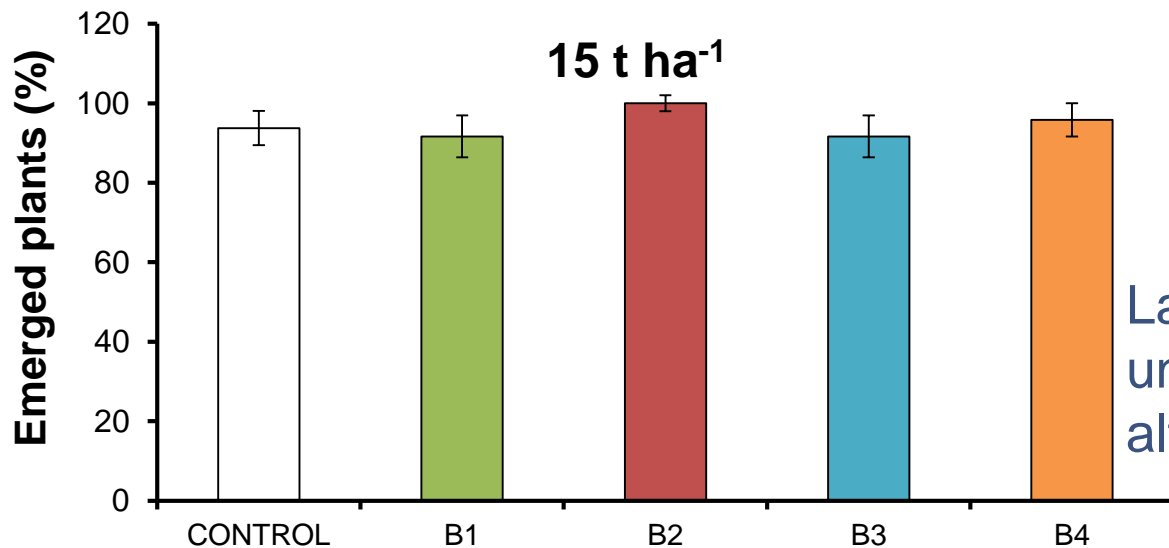
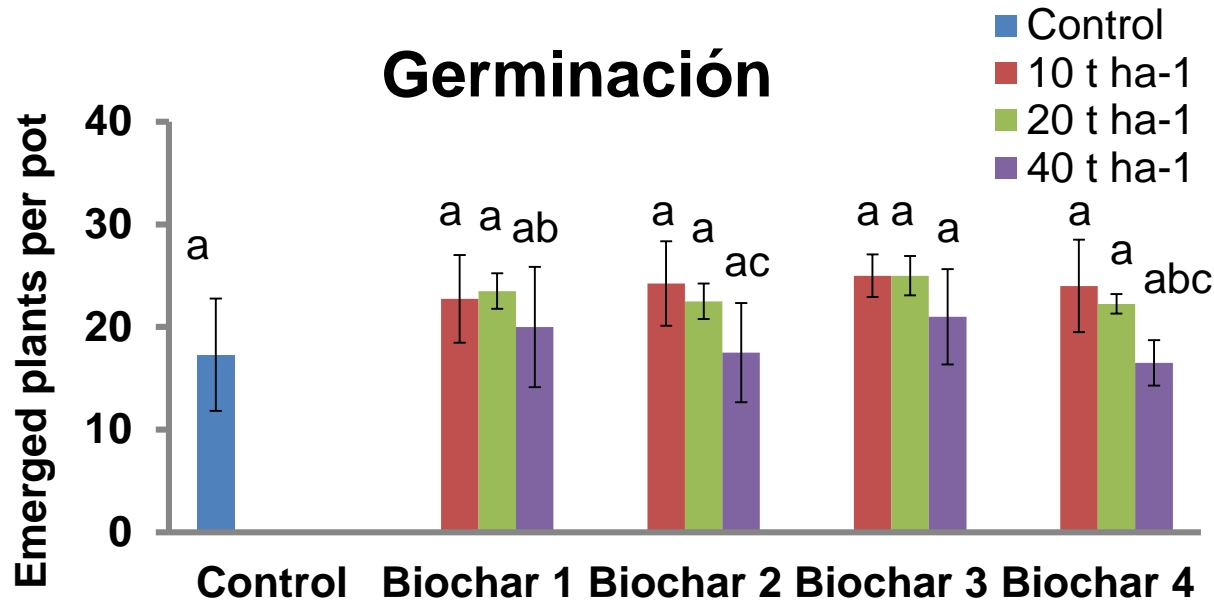
Girasol

(Biochars 0, 15 t/ha); Experimento de campo

Paneque, De la Rosa et al., 2016. Catena



II. Aplicación de biochar en suelos cálcicos



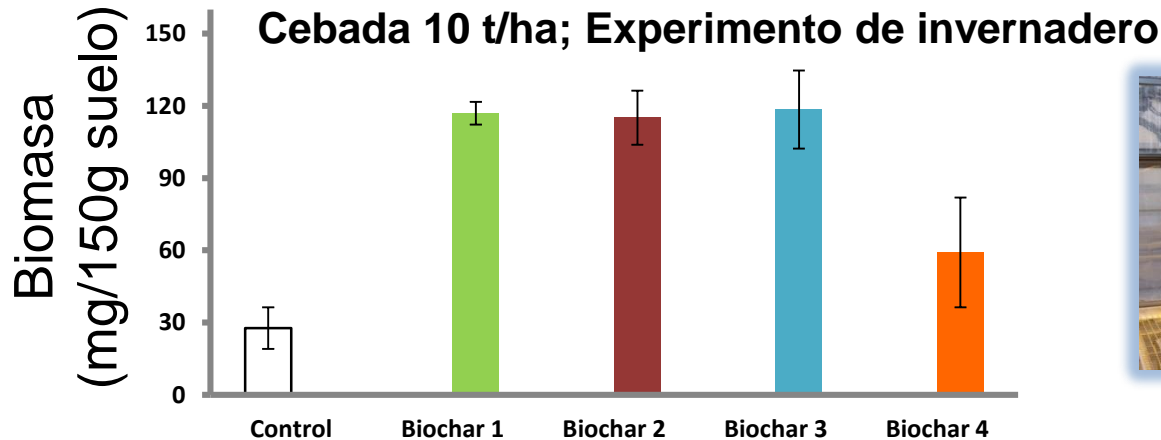
La adición de biochar a un *Calcic Cambisol* no alteró la germinación

II. Aplicación de biochar en suelos cálcicos



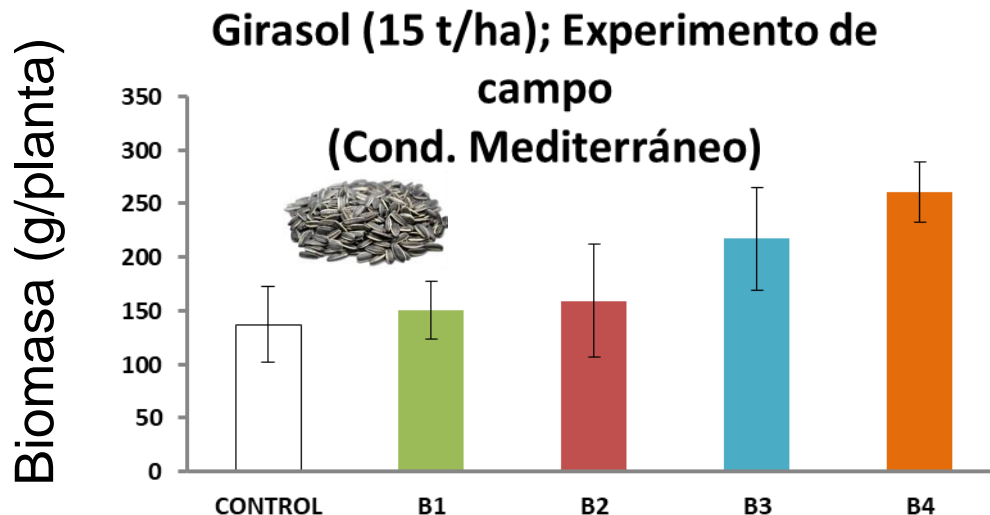
- **Suelo: Calcic Cambisol** (pH 7.8, TOC 0.7%)
- Localización: Coria del Río (Sevilla)
- Cultivo: Cebada y girasol
- Biochar: 4 tipos a partir de residuos orgánicos

Influencia en la productividad



Cambisol cálcico
(pH 7.8, TOC 0.7%)

De la Rosa et al., 2014. Sci. Total Env.



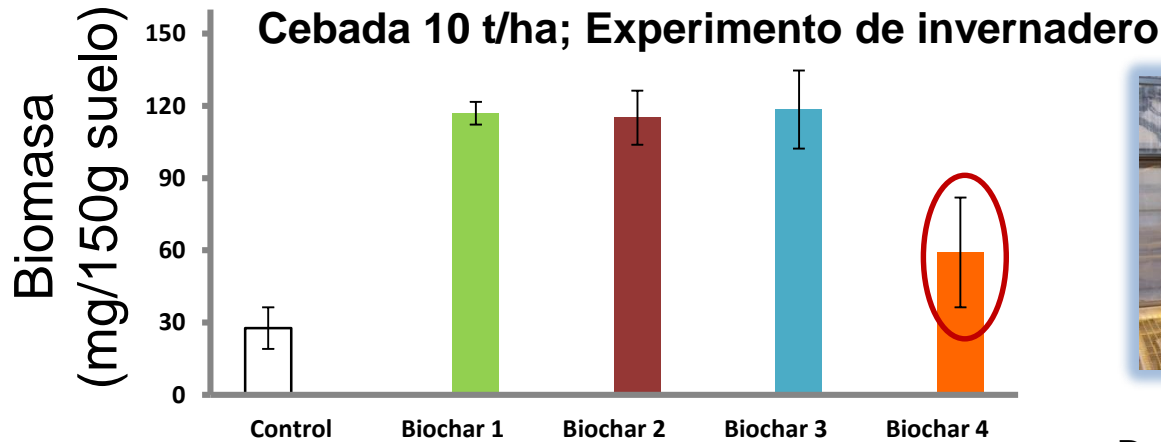
Paneque, De la Rosa et al., 2016. Catena

II. Aplicación de biochar en suelos cálcicos



- **Suelo: Calcic Cambisol** (pH 7.8, TOC 0.7%)
- Localización: Coria del Río (Sevilla)
- Cultivo: Cebada y girasol
- Biochar: 4 tipos a partir de residuos orgánicos

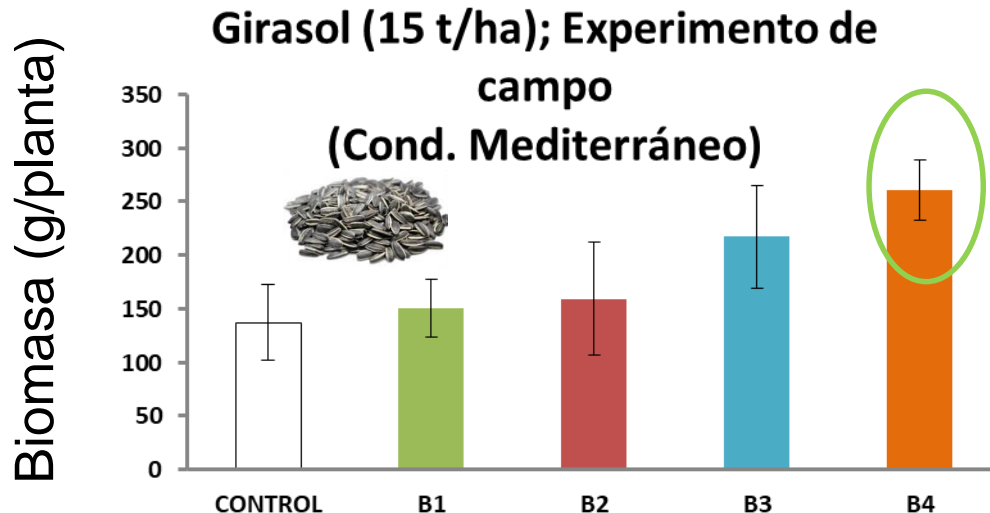
Influencia en la productividad



Cambisol cálcico
(pH 7.8, TOC 0.7%)



De la Rosa et al., 2014. Sci. Total Env.



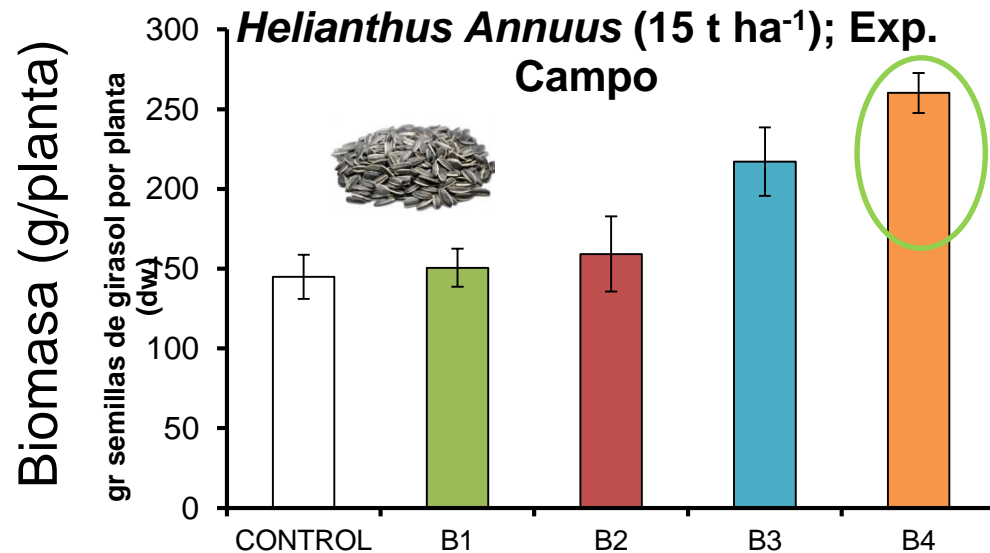
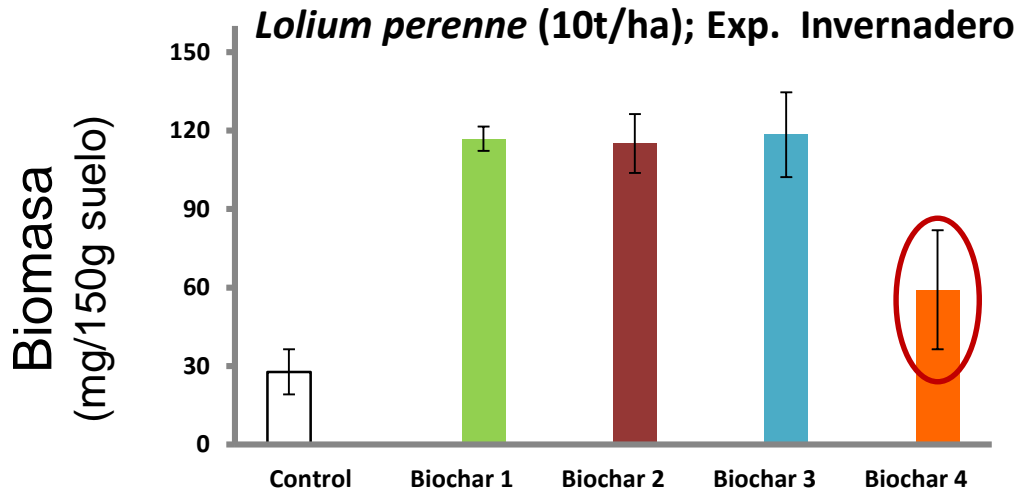
¿Explicación?



Paneque, De la Rosa et al., 2016. Catena

II. Aplicación de biochar en suelos cálcicos

Productividad (biomasa)

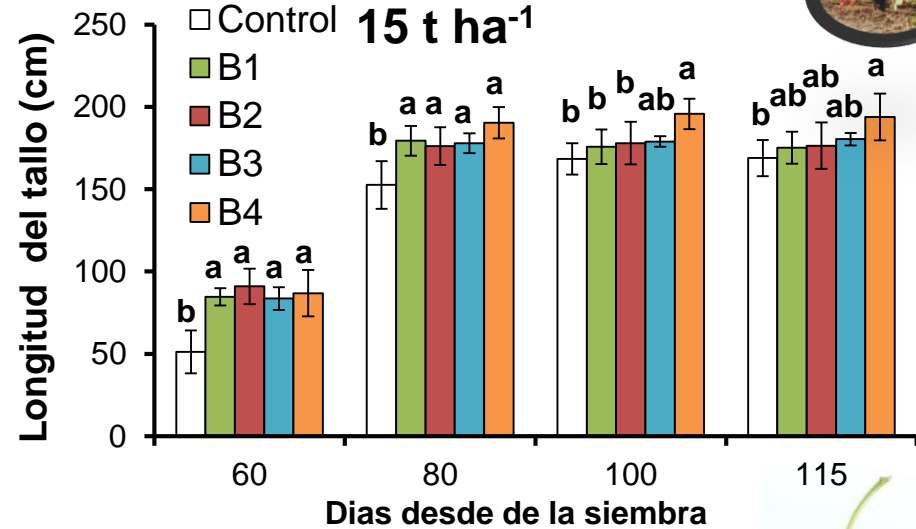


¿Explicación?

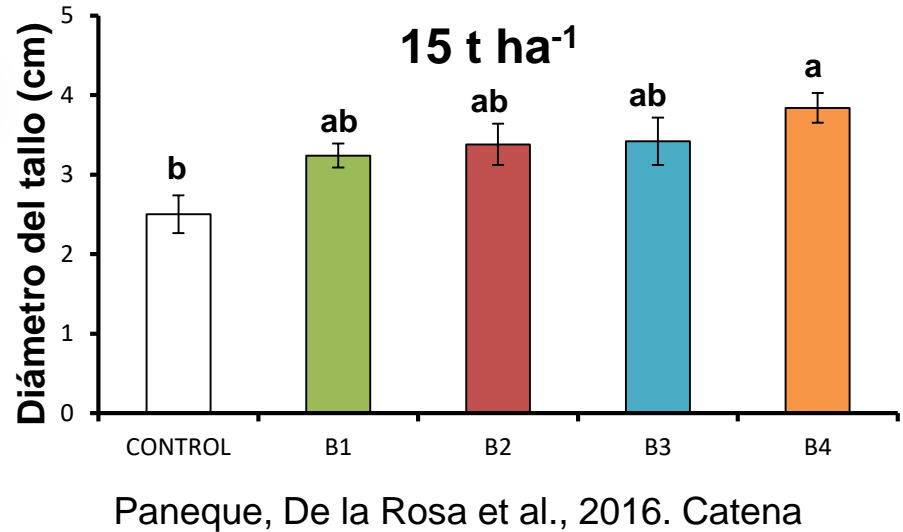
II. Aplicación de biochar en suelos cálcicos



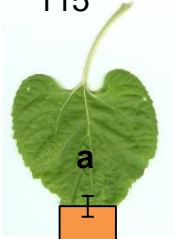
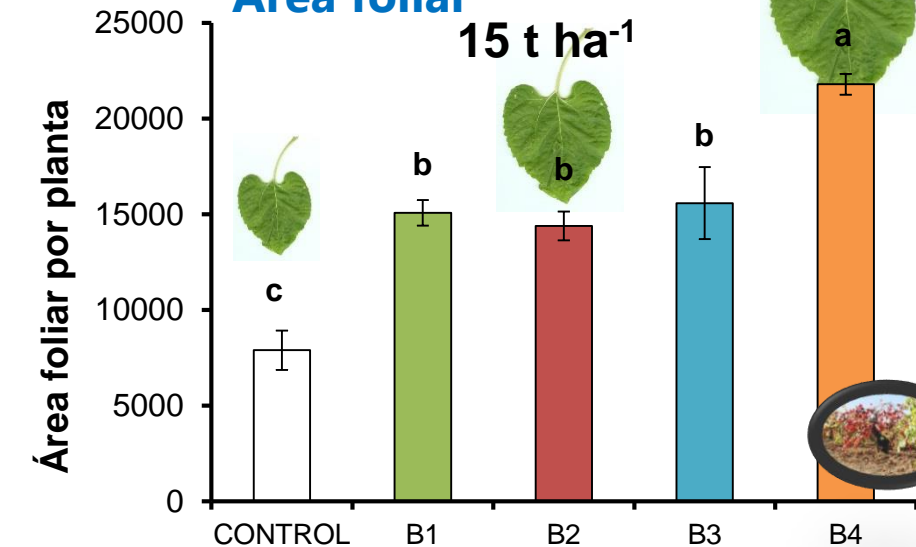
Longitud del tallo



Diámetro del tallo



Área foliar



El biochar permitió un desarrollo más rápido de la planta y un mayor crecimiento (diferencia especialmente significativa para B4)

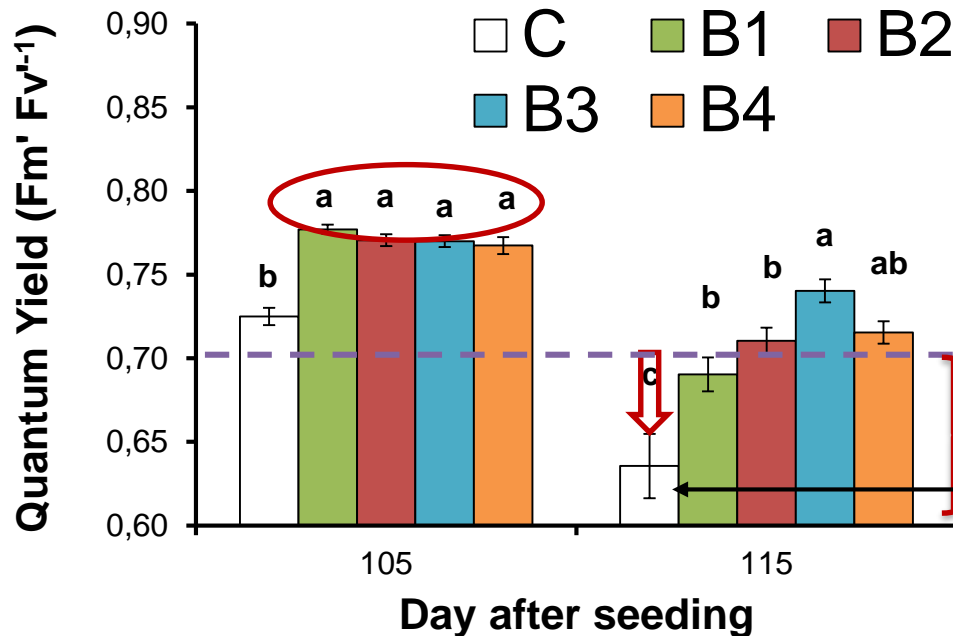
II. Aplicación de biochar en suelos cálcicos



Eficiencia del Fotosistema-II (PSII) (*Quantum yield*) (marcador del estrés hídrico de la planta)

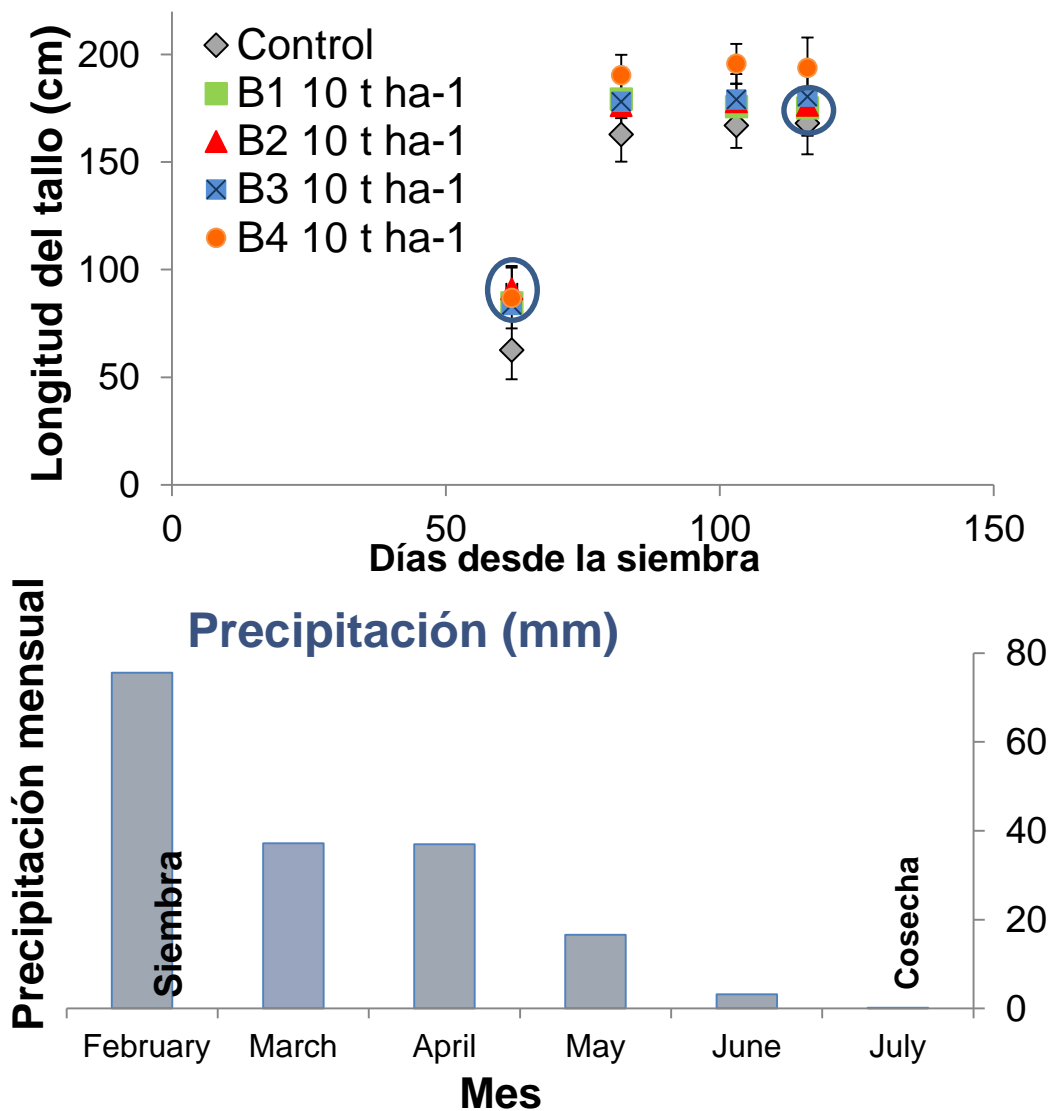
Biochar mejoró el estatus hídrico de los girasoles

Mejor situación con B3 y B4 para estadios finales (115 días después de la siembra)



<0.7 hydric stress
Control plots

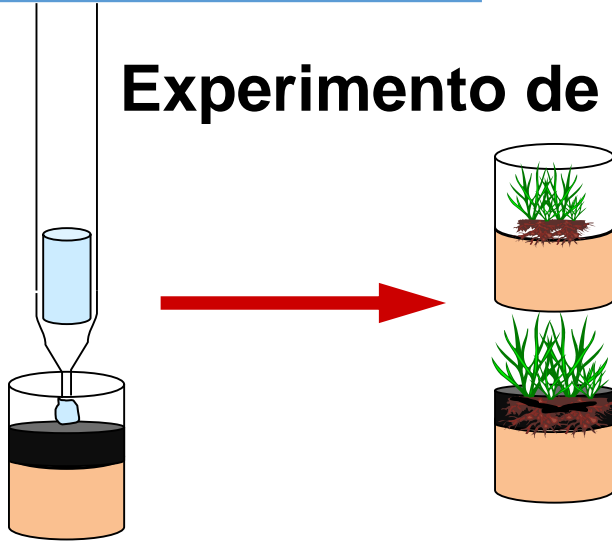
II. Aplicación de biochar en suelos cálcicos



II. Aplicación de biochar en suelos cálcicos

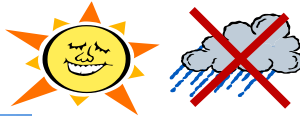
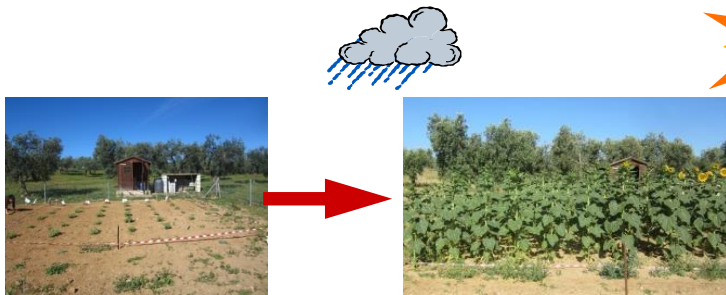


Experimento de invernadero



El riego permitió que el biochar mejorara las condiciones agronómicas del suelo e incrementara la biomasa en todos los casos

Experimento de campo (cond. clima Mediterráneo)



• Prod. B1, B2, B3 ≡ control
Retienen (y compiten por) el agua

- B4 (muy baja área específica y capacidad de retención)
- Incrementó la productividad

III. Aplicación de biochar en trigo (secano, suelo salino)



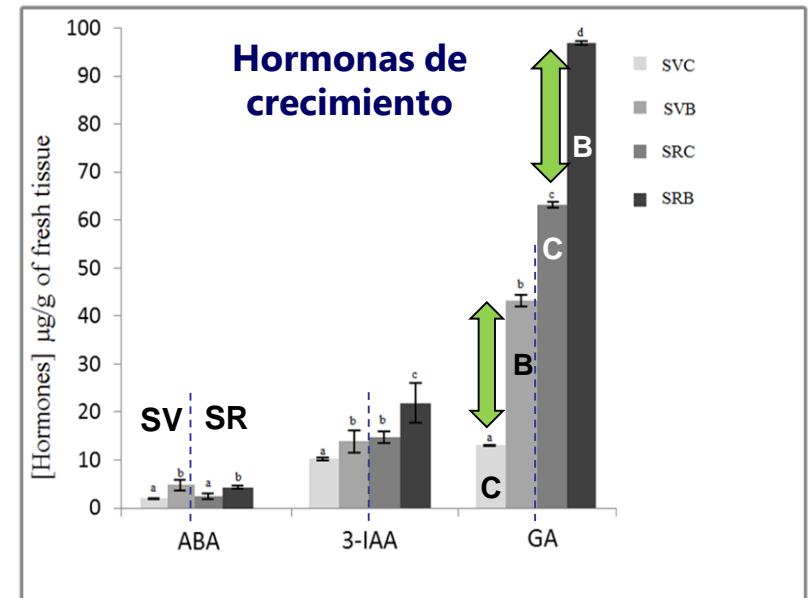
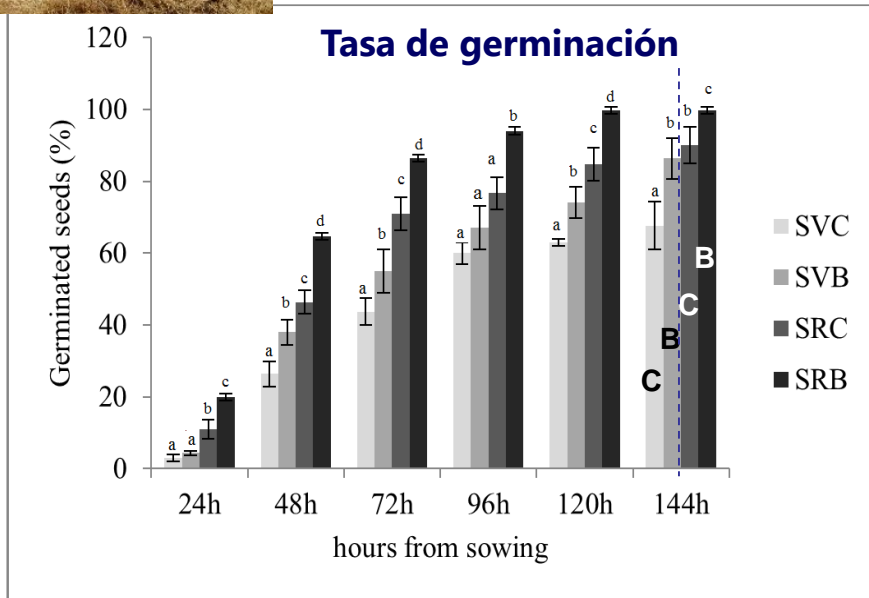
- **Suelo: *Eutric Cambisol*** (suelo salino; pH 5.5)
- Localización: Campania (S; Italia)
- Cultivo: 2 variedades de trigo, Svevo (comercial) y Saragolla (tradicional)
- Biochar: Astillas de madera (500 °C)

- pH relativamente bajo
- Baja disponibilidad de P, elevada salinidad (EC: 1600 ms/cm)
- Semillas comerciales nuevas tienen problemas de desarrollo

III. Aplicación de biochar en trigo (secano, suelo salino)



- **Suelo: *Eutric Cambisol*** (suelo salino; pH 5.5)
- Localización: Campania (S; Italia)
- Cultivo: 2 variedades de trigo, Svevo (comercial) y Saragolla (tradicional)
- Biochar: Astillas de madera (500 °C)



Abscísic acid (ABA); Auxins (IAA); Gibberellins (GA)

- Germinación y desarrollo más rápido en plantas de suelos enmendados con biochar (B)
- Mejor adaptabilidad (expresión de hormonas de crecimiento) en variedad tradicional de trigo (SR>SV)

IV. Aplicación de biochar y compost vegetal a olivar super intensivo



Ficha experimental:

- Finca experimental “*La Hampa*” (Coria del Río, Sevilla, 37°17' N, 6°3' W)
- Suelo: Sandy loam *Xerochrept*
- Cultivo: *Olea europaea* L. (Arbequina) 7 años de edad,
- 1660 árboles certificados ha⁻¹
- Riego: Déficit 30 % RDI



4 Tratamientos:

- **Control** (sin enmienda; **C**; control)
- **Biochar** de alperujo: 40 t ha⁻¹ (**B**)
- **Compost vegetal**: 40 t ha⁻¹ (**GC**)
- **Mezcla de B+GC**: 20 t ha⁻¹ each (**B+GC**)

Dosis real: 6.7 t ha⁻¹

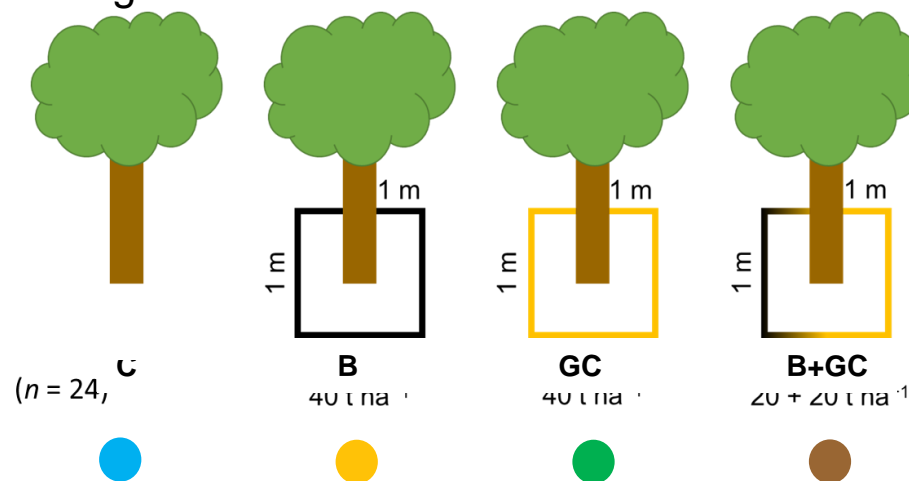
24 árboles por tratamiento (96 en total)

De la Rosa et al., 2022. Agronomy

IV. Aplicación de biochar y compost vegetal a olivar super intensivo

Ficha experimental:

- Finca experimental “La Hampa” (Coria del Río, Sevilla, 37°17' N, 6°3' W)
- Suelo: Sandy loam *Xerochrept*
- Cultivo: *Olea europaea* L. (Arbequina) 7 años de edad,
- 1660 árboles certificados ha⁻¹
- Riego: Déficit 30 % RDI

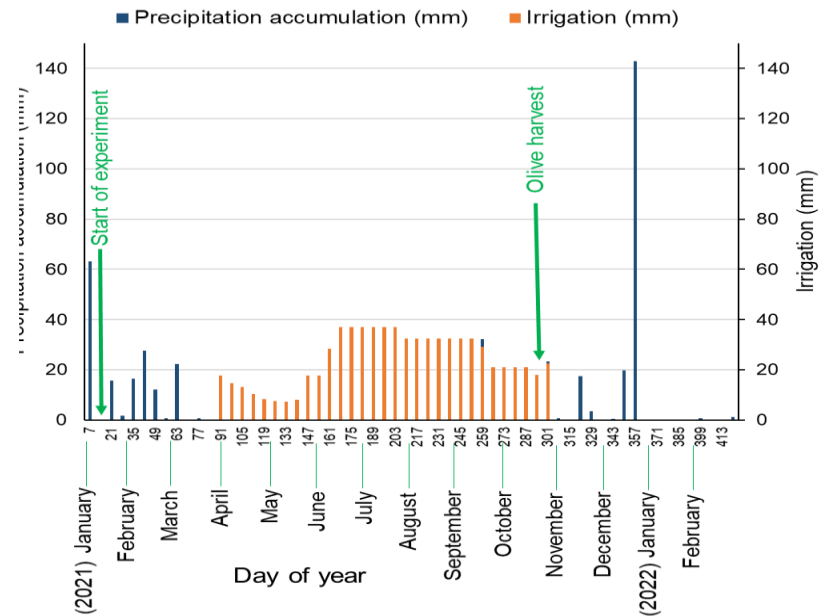
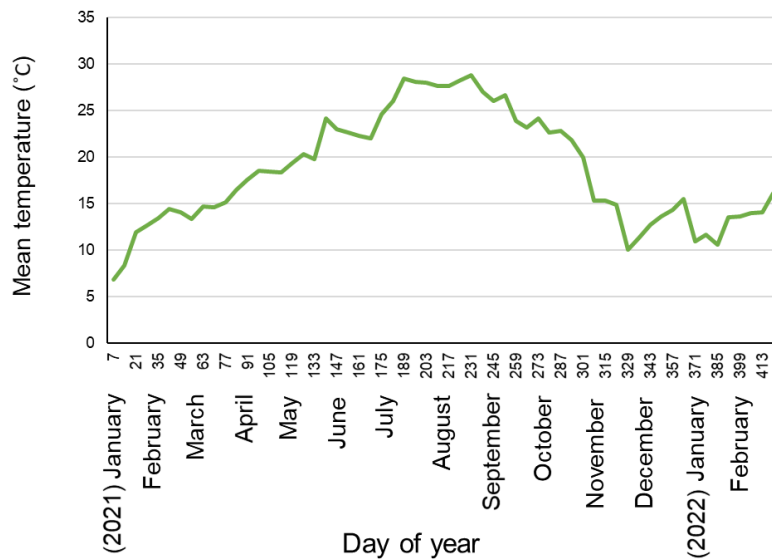


IV. Aplicación de biochar y compost vegetal

a olivar super intensivo

Información climática:

- Precipitación anual promedio: 450 mm
- Irrigación: 750 mm (30% RDI Regulated Deficit Irrigation)
- Evapotranspiración: 2000 mm



IV. Aplicación de biochar y compost vegetal a olivar super intensivo

Efectos en las propiedades físicas del suelo

Humedad del suelo y resistencia a la penetración



	Soil depth	Season	C	OB+GC	GC	OB
Soil moisture (%)	0-5 cm	Spring	7.1±6.5 ^c	13.6±6.0 ^b	13.4±6.7 ^b	15.5±5.4 ^a
		Summer	11.6±7.8 ^b	20.3±0.3 ^a	19.9±1.8 ^a	20.1±1.7 ^a
		Autumn	16.7±5.5 ^a	19.9±1.2 ^a	18.6±3.3 ^a	19.0±2.6 ^a
		Winter	11.2±7.9 ^c	12.2±6.9 ^{bc}	17.5±5.3 ^{ab}	18.7±2.6 ^a
	5-10 cm	Spring	11.5±6.2 ^b	17.0±3.3 ^a	17.3±2.9 ^a	18.0±2.3 ^a
		Summer	17.1±4.8 ^b	20.6±0.1 ^a	20.6±0.2 ^a	20.2±3.0 ^a
		Autumn	19.5±2.2 ^a	20.5±0.2 ^a	20.1±1.3 ^a	20.5±0.2 ^a
		Winter	17.3±3.8 ^a	16.1±4.0 ^a	20.4±0.3 ^a	20.4±0.2 ^a
Resistance to penetrability (kg cm ⁻²)	Spring	3.8±1.5 ^a	2.5±1.5 ^b	2.6±1.5 ^b	2.0±1.1 ^c	
	Summer	4.0±1.9 ^a	1.7±1.1 ^b	1.8±1.0 ^b	1.3±0.8 ^b	
	Autumn	3.5±1.7 ^a	1.2±0.3 ^c	1.8±0.9 ^b	1.5±0.9 ^b	
	Winter	4.7±1.6 ^a	2.0±1.0 ^c	3.7±1.7 ^b	2.6±1.2 ^c	

Different letters indicate significant differences between treatments in the same sampling (p<0.05).

- Ambas enmiendas orgánicas y su mezcla incrementaron de manera significativa la humedad del suelo (especialmente durante el verano)

IV. Aplicación de biochar y compost vegetal a olivar super intensivo

Efectos en las propiedades físicas del suelo

Humedad del suelo y resistencia a la penetración



	Soil depth	Season	Treatment			
			C	OB+GC	GC	OB
Soil moisture (%)	0-5 cm	Spring	7.1±6.5 ^c	13.6±6.0 ^b	13.4±6.7 ^b	15.5±5.4 ^a
		Summer	11.6±7.8 ^b	20.3±0.3 ^a	19.9±1.8 ^a	20.1±1.7 ^a
		Autumn	16.7±5.5 ^a	19.9±1.2 ^a	18.6±3.3 ^a	19.0±2.6 ^a
		Winter	11.2±7.9 ^c	12.2±6.9 ^{bc}	17.5±5.3 ^{ab}	18.7±2.6 ^a
	5-10 cm	Spring	11.5±6.2 ^b	17.0±3.3 ^a	17.3±2.9 ^a	18.0±2.3 ^a
		Summer	17.1±4.8 ^b	20.6±0.1 ^a	20.6±0.2 ^a	20.2±3.0 ^a
		Autumn	19.5±2.2 ^a	20.5±0.2 ^a	20.1±1.3 ^a	20.5±0.2 ^a
		Winter	17.3±3.8 ^a	16.1±4.0 ^a	20.4±0.3 ^a	20.4±0.2 ^a
Resistance to penetrability (kg cm ⁻²)		Spring	3.8±1.5 ^a	2.5±1.5 ^b	2.6±1.5 ^b	2.0±1.1 ^c
		Summer	4.0±1.9 ^a	1.7±1.1 ^b	1.8±1.0 ^b	1.3±0.8 ^b
		Autumn	3.5±1.7 ^a	1.2±0.3 ^c	1.8±0.9 ^b	1.5±0.9 ^b
		Winter	4.7±1.6 ^a	2.0±1.0 ^c	3.7±1.7 ^b	2.6±1.2 ^c

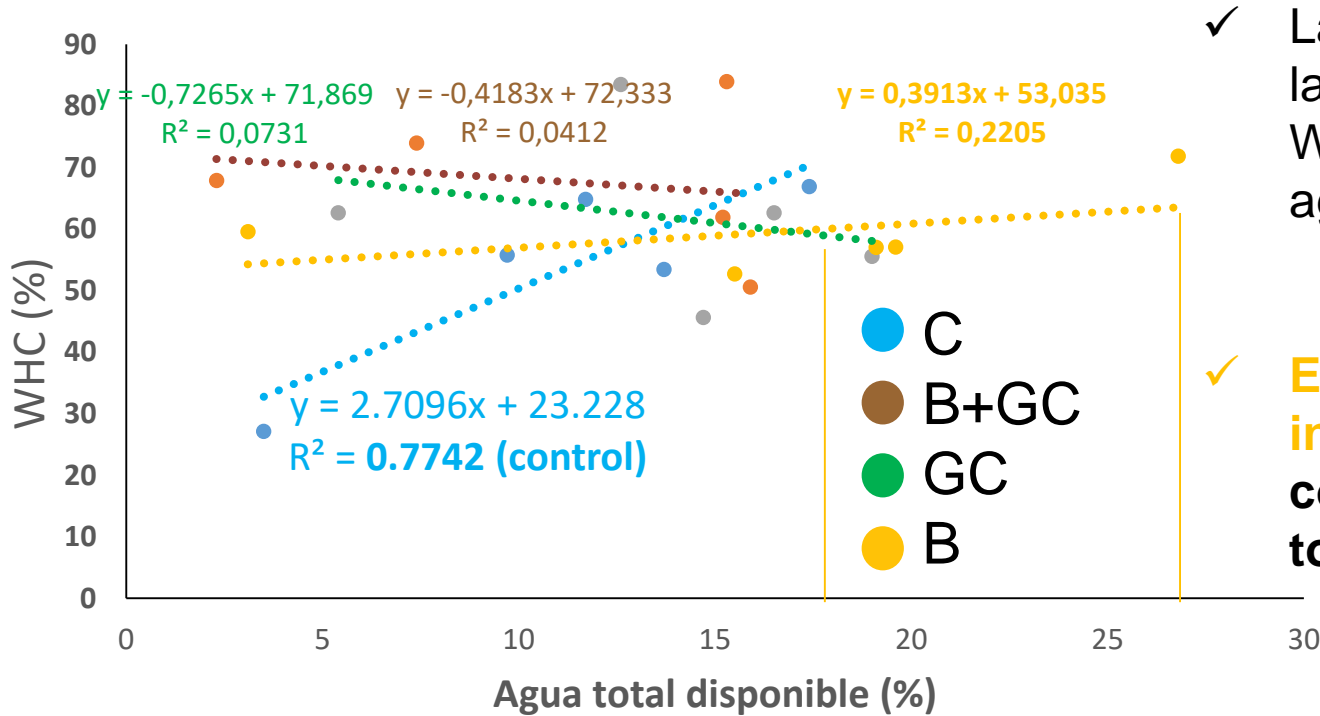
Different letters indicate significant differences between treatments in the same sampling (p<0.05).

- Se redujo la resistencia a la penetrabilidad (se facilita la infiltración del agua de lluvia).

IV. Aplicación de biochar y compost vegetal a olivar super intensivo

Efectos en las propiedades físicas del suelo

Capacidad de retención hídrica Vs. agua total disponible

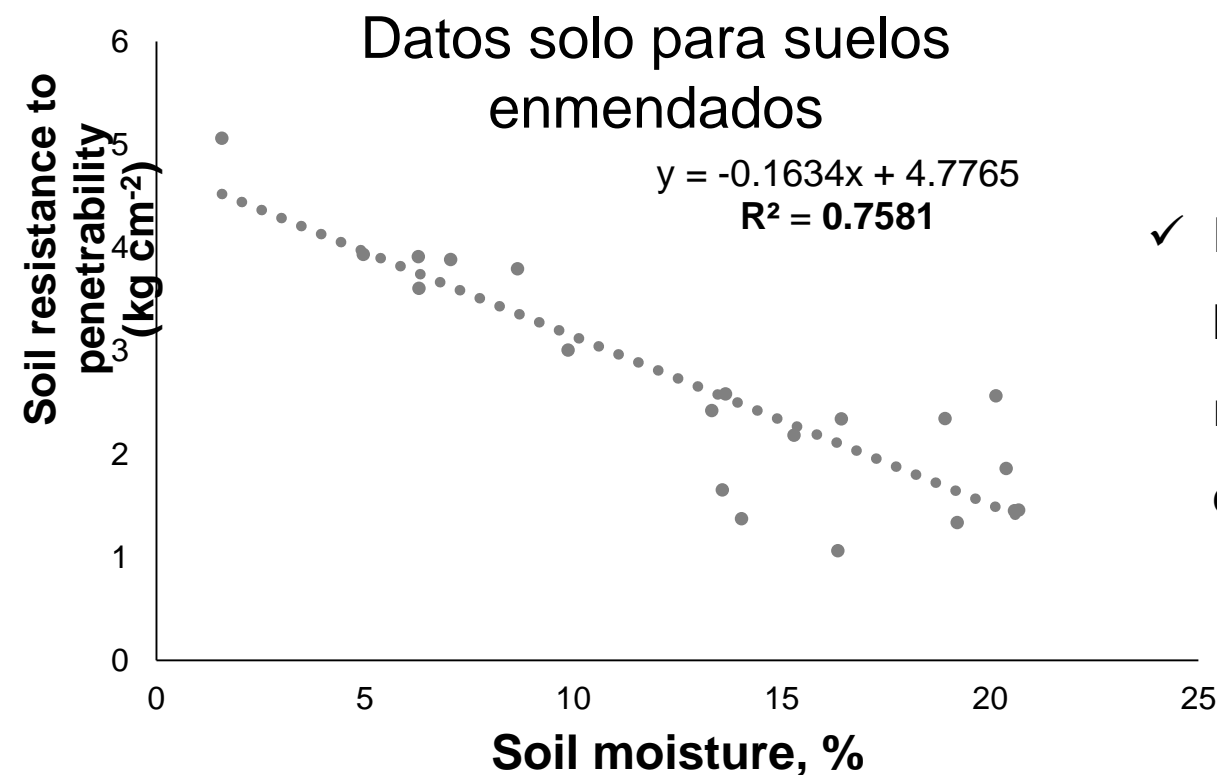


✓ Las enmiendas rompen la **relación lineal** entre WHC y el contenido en agua total disponible

✓ El **biochar de alperujo incrementa** el contenido de agua total disponible

IV. Aplicación de biochar y compost vegetal a olivar super intensivo

Efectos en las propiedades físicas del suelo



✓ Fuerte relación (-) entre humedad del suelo y resistencia a la penetrabilidad del suelo

IV. Aplicación de biochar y compost vegetal a olivar super intensivo



Efectos en la composición elemental del suelo

		TC (g kg ⁻¹)	TOC (g kg ⁻¹)	TN (g kg ⁻¹)
C	0-5	12.7 ± 0.2	10.8 ± 0.3	1.18 ± 0.00
	5-10	10.4 ± 1.2	9.2 ± 0.4	1.00 ± 0.12
	10-20	7.6 ± 0.1	8.1 ± 0.3	0.79 ± 0.01
B	0-5	48.2 ± 1.6	42.0 ± 10.9	2.18 ± 0.00
	5-10	13.8 ± 0.8	12.5 ± 0.9	1.14 ± 0.02
	10-20	8.7 ± 0.3	9.1 ± 0.7	0.84 ± 0.03
CP	0-5	17.8 ± 0.8	16.2 ± 0.7	1.61 ± 0.06
	5-10	9.1 ± 0.1	10.7 ± 1.2	0.91 ± 0.00
	10-20	8.4 ± 0.3	7.3 ± 0.0	0.82 ± 0.02
B+CP	0-5	22.1 ± 6.3	21.0 ± 2.8	1.46 ± 0.24
	5-10	10.5 ± 1.1	9.8 ± 0.1	1.02 ± 0.07
	10-20	7.9 ± 0.9	7.3 ± 0.1	0.84 ± 0.09

Macronutrientes (Concentración total; mg kg⁻¹)

		P	K	Ca	Mg
C	0-5	192 ± 5	2169 ± 88	3059 ± 2	1992 ± 78
	5-10	143 ± 1	2007 ± 0	3311 ± 135	2116 ± 18
	10-20	113 ± 5	2158 ± 47	2741 ± 4	2283 ± 15
B	0-5	486 ± 2	3189 ± 28	3588 ± 61	2761 ± 60
	5-10	229 ± 13	3259 ± 169	2053 ± 162	2477 ± 173
	10-20	189 ± 0	2863 ± 150	2179 ± 95	2740 ± 194
GC	0-5	287 ± 34	2461 ± 171	4333 ± 510	2590 ± 197
	5-10	76 ± 78	1563 ± 420	2004 ± 195	1872 ± 363
	10-20	147 ± 13	1930 ± 89	3199 ± 290	2363 ± 46
B+GC	0-5	383 ± 32	2763 ± 97	4474 ± 127	2088 ± 46
	5-10	192 ± 17	2618 ± 197	2334 ± 200	1735 ± 94
	10-20	154 ± 0	2365 ± 29	2175 ± 44	2010 ± 18

- ✓ OB, GC y OB+GC incrementó TC, TOC y TN* contenidos en el topsoil.
- ✓ OB y OB+GC incrementaron el contenido total de P, K (y Mg en B) hasta 20 cm.
- ✓ GC incrementó el contenido total de P, Ca y Mg en la fracción 0-5 cm.

IV. Aplicación de biochar y compost vegetal a olivar super intensivo



Efectos en la composición elemental del suelo

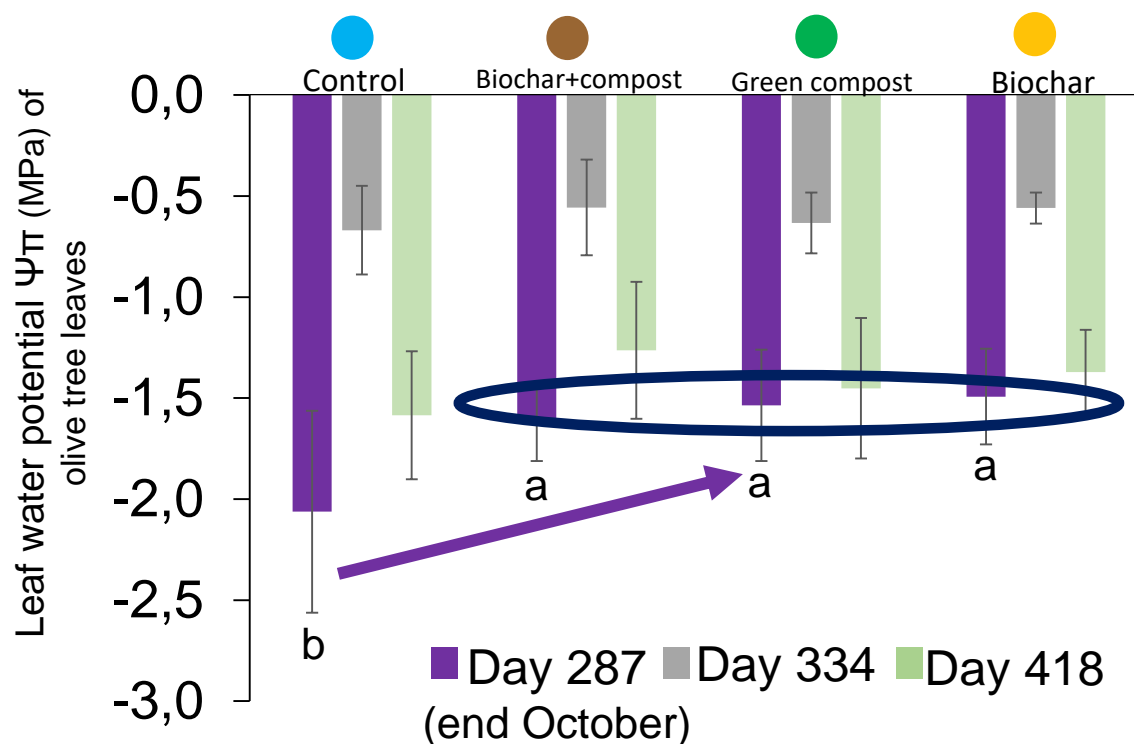
					Macronutrientes (Conc. disponible; mg kg ⁻¹)					
		TC (g kg ⁻¹)	TOC (g kg ⁻¹)	TN (g kg ⁻¹)			P	K	Ca	Mg
C	0-5	12.7 ± 0.2	10.8 ± 0.3	1.18 ± 0.00	C	0-5	0.1 ± 0.0	332 ± 6	3517 ± 107	195 ± 1
	5-10	10.4 ± 1.2	9.2 ± 0.4	1.00 ± 0.12		5-10	i.l.d.	179 ± 4	3582 ± 6	198 ± 7
	10-20	7.6 ± 0.1	8.1 ± 0.3	0.79 ± 0.01		10-20	i.l.d.	139 ± 5	3626 ± 152	274 ± 17
B	0-5	48.2 ± 1.6	42.0 ± 10.9	2.18 ± 0.00	B	0-5	5.2 ± 0.2	755 ± 16	3050 ± 150	321 ± 9
	5-10	13.8 ± 0.8	12.5 ± 0.9	1.14 ± 0.02		5-10	i.l.d.	881 ± 110	3056 ± 227	284 ± 39
	10-20	8.7 ± 0.3	9.1 ± 0.7	0.84 ± 0.03		10-20	i.l.d.	530 ± 12	3054 ± 98	352 ± 6
CP	0-5	17.8 ± 0.8	16.2 ± 0.7	1.61 ± 0.06	CP	0-5	3.2 ± 0.7	419 ± 13	3341 ± 94	344 ± 6
	5-10	9.1 ± 0.1	10.7 ± 1.2	0.91 ± 0.00		5-10	i.l.d.	253 ± 3	3180 ± 94	369 ± 4
	10-20	8.4 ± 0.3	7.3 ± 0.0	0.82 ± 0.02		10-20	i.l.d.	157 ± 16	3337 ± 189	353 ± 34
B+CP	0-5	22.1 ± 6.3	21.0 ± 2.8	1.46 ± 0.24	B+CP	0-5	3.8 ± 0.8	817 ± 30	3304 ± 38	244 ± 18
	5-10	10.5 ± 1.1	9.8 ± 0.1	1.02 ± 0.07		5-10	1.6 ± 0.7	838 ± 14	3427 ± 95	169 ± 1
	10-20	7.9 ± 0.9	7.3 ± 0.1	0.84 ± 0.09		10-20	i.l.d.	439 ± 46	3347 ± 229	198 ± 27

✓ B, B+CP y CP incrementaron los contenidos de P, K y Mg

IV. Aplicación de biochar y compost vegetal a olivar super intensivo



Efectos en la fisiología vegetal

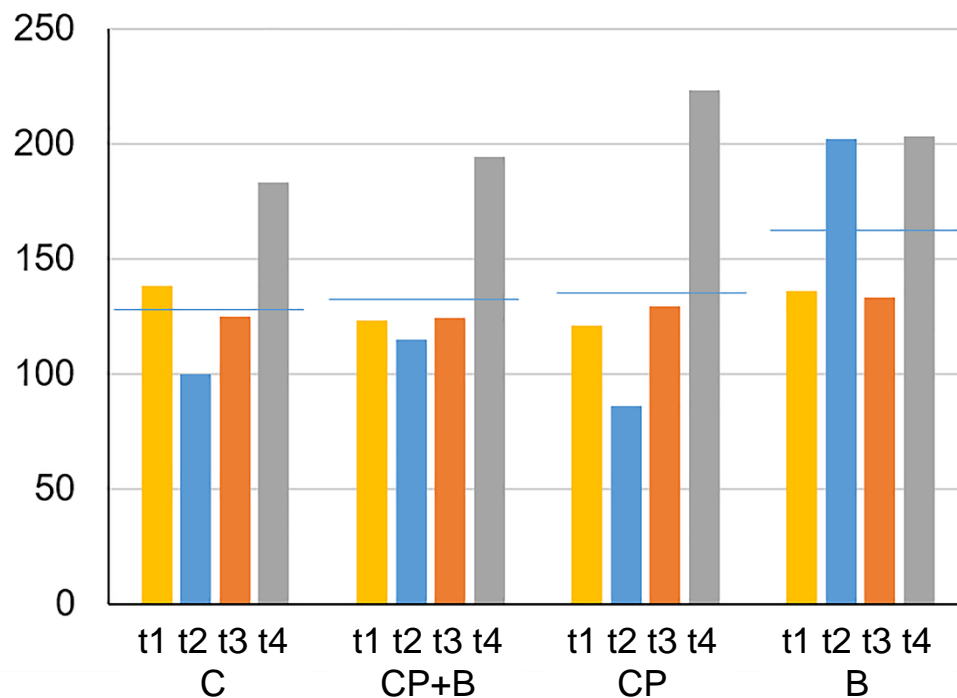


Potencial hídrico foliar ($\Psi\pi$ = marker of plant-water stress) de los olivos en suelos enmendados mejoró (se redujo) en octubre (justo pre-cosecha).

IV. Aplicación de biochar y compost vegetal a olivar super intensivo



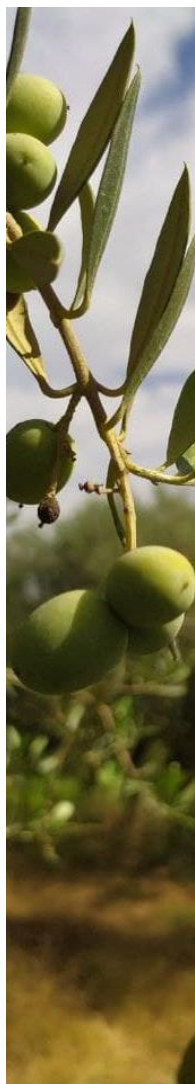
Efectos en la fisiología vegetal



Water Use Efficiency (WUEi) mejoró en los suelos enmendados con biochar

IV. Aplicación de biochar y compost vegetal

Efectos en la productividad



Treatment	Production of olives (kg per tree)	Humidity of olives (% w/w)	Total fat (% w/w)	Oil free acidity	Production of olive oil (kg per tree)
C	10.1±0.4a	61.7±0.3a	15.1±0.2a	0.31±0.02	1.52
GC	10.5±0.3a	61.0±0.4a	15.8±0.4a	0.35±0.03	1.66
OB+GC	10.8±0.2a	61.7±0.3a	15.2±0.2a	0.31±0.03	1.64
OB	11.9±0.3b	63.9±0.5b	14.1±0.3b	0.29±0.04	1.68

Different letters indicate significant differences between treatments for the same parameter ($p < 0.05$).

- ✓ Peso neto de fruto se increment **15% en olivos enmendados con biochar**
- ✓ Producción neta de aceite por olivo fue similar (aceitunas contenían mas agua)
- ✓ **Irrigación debía haberse reducido**

IV. Aplicación de biochar y compost vegetal a olivar super intensivo



Efectos en tasas de respiración (emisión CO₂)



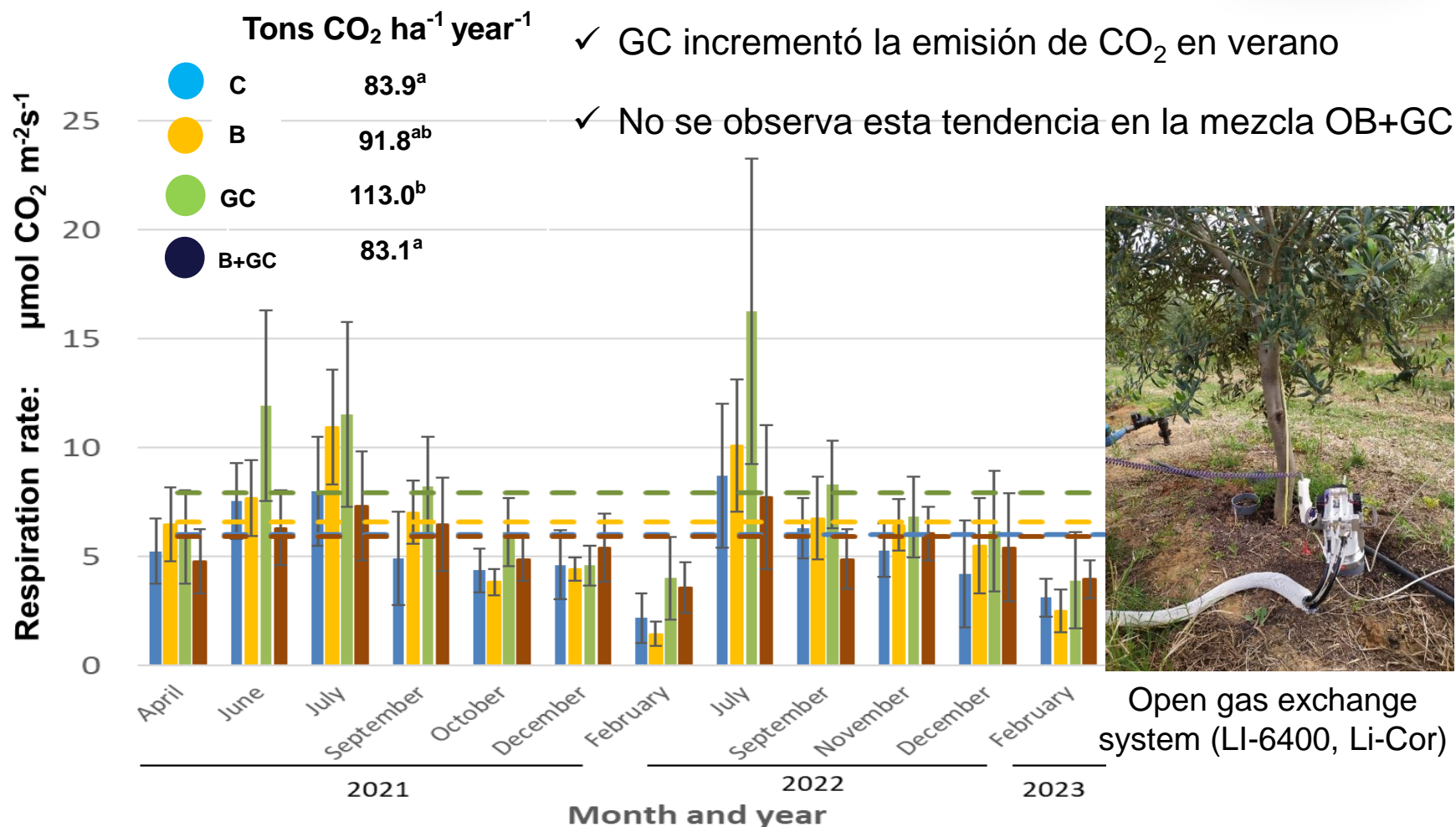
Open gas exchange system (LI-6400, Li-Cor)

- 48 cylinders ($n=12$)
- Monitored soil moisture and temperature
- Monthly determination of soil respiration rates

IV. Aplicación de biochar y compost vegetal a olivar super intensivo



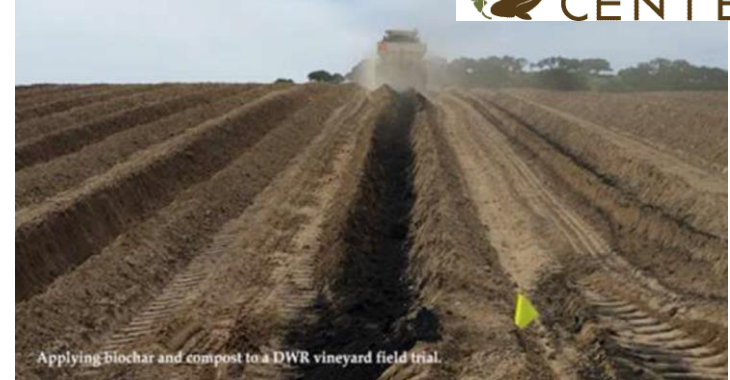
Efectos en las emisiones de CO₂



V. Vineyard crop (Sonoma, CA; USA)

Location, crop and climatic conditions:

- Sonoma Ecology Center (California, USA)
- Soil: Sandy ; TOC 0.7%.
- Crop: *Vitis Vinifera*; Pinot Noir (9x5).
- Installed: 2016; planted 2017. 2 seasons.



Treatments: Applied at depth down planting row (delved)

- **Control** plots (no amendment; **C; control**;))
- Wood **biochar**: 10 t ha⁻¹ (**B**)
- **Green Compost**: 15 t ha⁻¹ (**GC**) ;
- **Mix of WB+GC**: 10 +15 t ha⁻¹ (**B+GC**)

4 lines per treatment; Real dose is lower

Analysis performed

☐ Soil properties

-pH, EC, WHC, elemental composition (TC,TN and nutrients) (laboratory)

-**Soil water potential**

-**Soil moisture** (sensors 40 and 60 cm) (*in situ*)

-**Soil respiration (CO₂)**

☐ Physiological status; Plant Vigour

-**Enhanced Vegetation Index (EVI)**

Derived from reflectance values in the green, red, blue and infrared regions of the electromagnetic spectrum

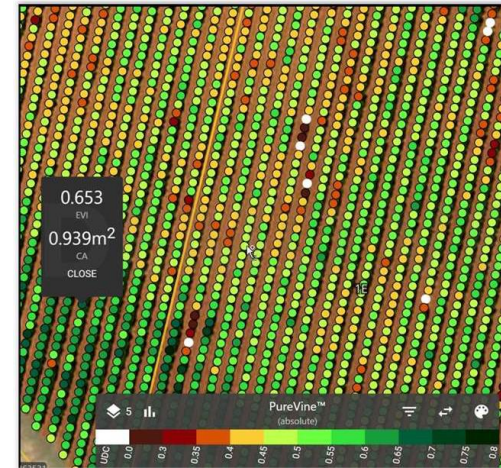
☐ **Productivity**



V. Vineyard crop (Sonoma, CA; USA)

Enhanced Vegetation Index (EVI) (~NDVI)

EVI is less sensitive to atmospheric conditions



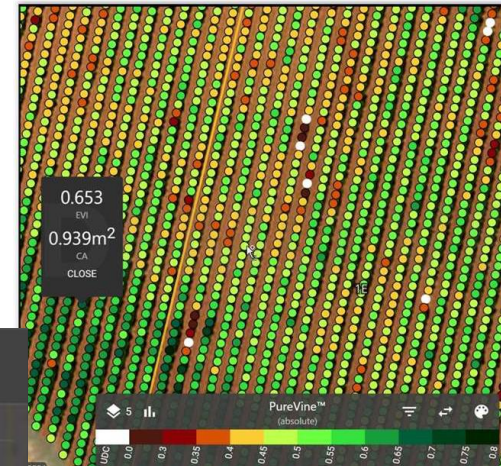
Low vigour High vigour



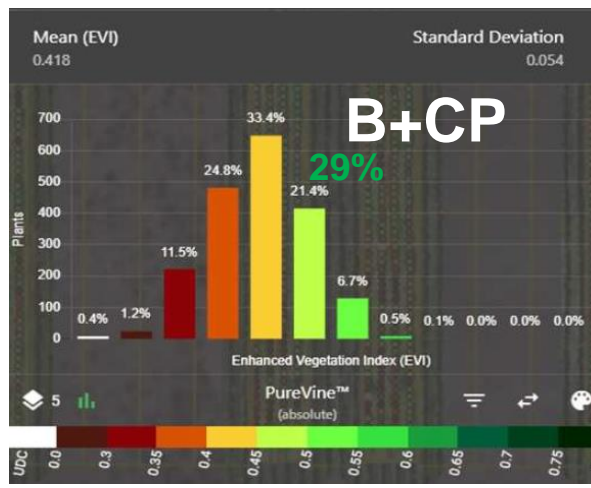
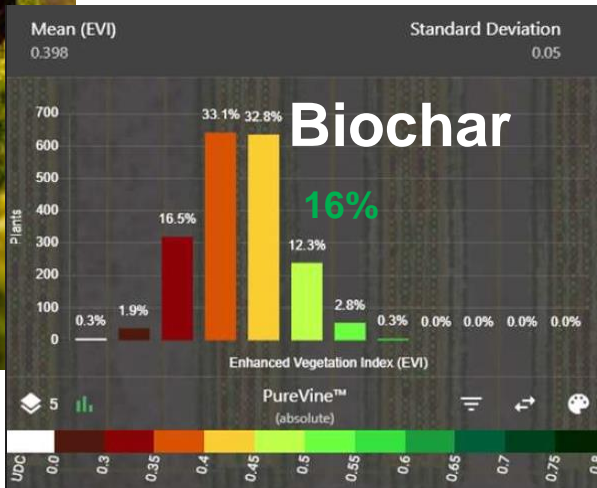
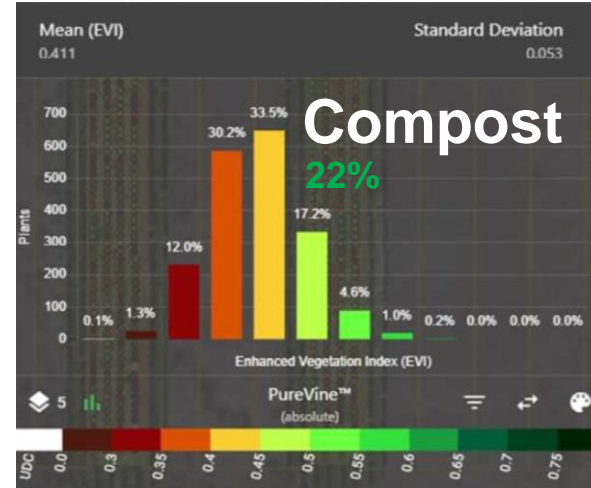
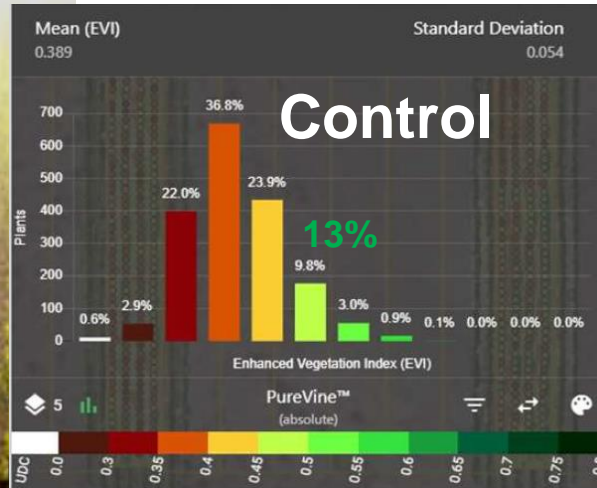
V. Vineyard crop (Sonoma, CA; USA)

Enhanced Vegetation Index (EVI) (~NDVI)

EVI is less sensitive to atmospheric conditions



Low vigour High vigour

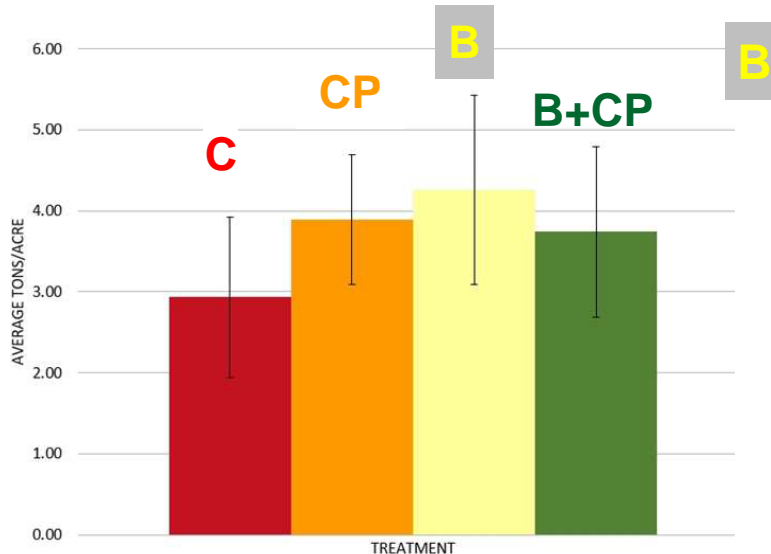


V. Vineyard crop (Sonoma, CA; USA)



Productivity

Harvest Yield (3rd leaf- 2019)



Economic assessment

2019: Increase 1.3 t/acre ~ 2.5 t/ha

2020: Increase 1.1 t/acre ~ 1.2 t/ha

Biochar: Cost 2000 €/ha

Grape price: 2000 €/ton approx.

No extra amendments during 10 years

Expected Profit: **20.000 €/ha in 10 years**
(increases of 0.5 t grape acre⁻¹ yr⁻¹)

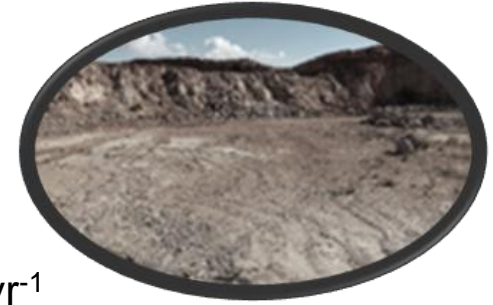
Quality

- No differences on pH, brix or acidity of grapes
- Berry weights, volume, and sugar per berry were all highest in the biochar treatment

Berry Weight			
AVERAGES	g/berry	% difference	ST DEV
Control	1.3675	0.00%	0.02
Compost	1.33	-2.74%	0.05
Biochar	1.3925	1.83%	0.05
Com+Biochar	1.3575	-0.73%	0.02
Berry Volume			
AVERAGES	ml/berry	% difference	ST DEV
Control	1.1475	0.00%	0.04
Compost	1.185	3.27%	0.07
Biochar	1.24	8.06%	0.08
Com+Biochar	1.15	0.22%	0.03

VI. Tecnosuelos

- **Suelo:** Inexistente, Roca madre; TOC 0.3%; TN 0.02%; pH 8.5
- **Localización:** Gádor (Almería); Clima árido; SE; España. 220 mm yr⁻¹
- **Cultivo:** Plantas resistentes a condiciones áridas (acebuche; romero, tomillo, palmito)
- **Procedimiento de recuperación:** Suelos artificiales (llegar a 2% de TOC; 15 T/ha).



Enmiendas orgánicas



Compost 100% vegetal (restos de cosecha- GC)



Compost de residuos de invernadero CC



Lodos de depuradora estabilizados; SS



Biochar 500°C de lodos; SS-B



VI. *Tecnosuelos*

June 2018



February 2021



Natural soils (pre-mining)



- **La aplicación de enmiendas orgánicas permitió la recuperación de la funcionalidad de los suelos en 18 meses**

VI. Tecnosuelos

Treated plots



Control (non treated plots)



Conclusiones

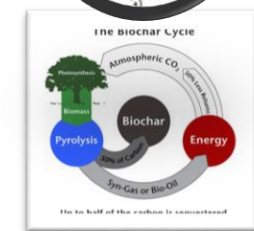
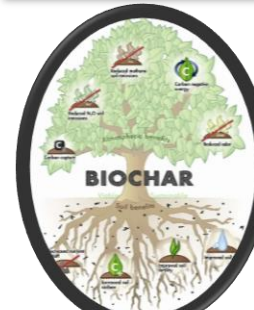
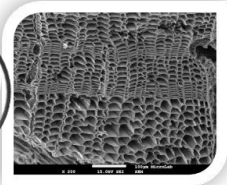
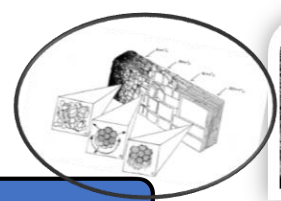
El biochar es una enmienda orgánica eficaz para mejorar las propiedades físicas del suelo (retención de agua, ...)

Debe ser producido a partir de residuos agro-forestales y ganaderos generados en la region y con la mejor tecnología possible/disponible

El biochar no es un fertilizante (suele contener K y Ca) pero puede ser un transportador excelente

El biochar producido de forma adecuada es estable, contribuye al secuestro de C y a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (especialmente N_2O)

La combinación con otras enmiendas orgánicas permite recuperar suelos improductivos o en riesgo elevado de degradación





VII EUROSIL 2025

**& X Congreso Ibérico de la
Ciencia del Suelo**

SEVILLE-SPAIN 8-12 SEP



¡Gracias por su atención!



Jose Maria de la Rosa

jmrosa@irnase.csic.es

Jornada Phos4Cycle:
Manejo sostenible y calidad del suelo



VII EUROSOIL 2025
& X Congreso Ibérico
de la Ciencia del Suelo

SEVILLE-SPAIN 8-12 SEP

AND



**1st EUROPEAN SOIL
JUDGING CONTEST**
ALCOI-ALICANTE-SPAIN 2025

Organized by:



ECSSS
European Confederation
of Soil Science Societies



SPCS



SECS
SOCIEDAD ESPAÑOLA
DE LA CIENCIA DEL SUELO

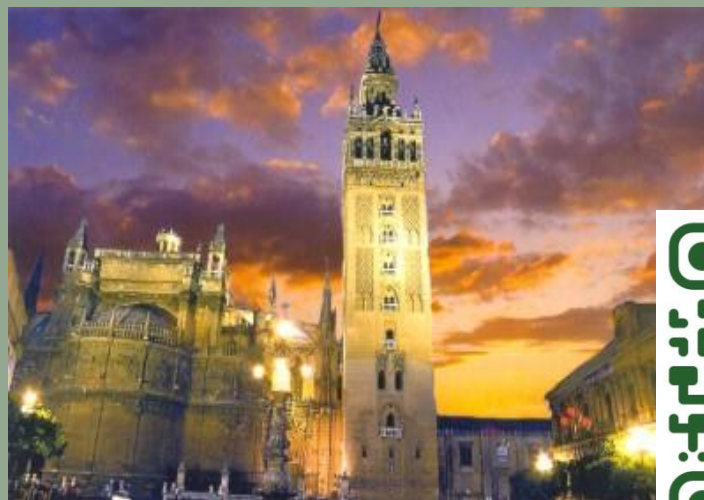
In collaboration with:



EUROSOIL2025

*DON'T MISS THE
YEAR'S SOIL EVENT*

SEVILLE, SPAIN, 8-12 SEPTEMBER 2025



EUROSOIL2025.EU