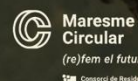




BIOFORIN



ASSOCIACIÓ DE PROPIETARIS
DEL MONTNEGRE I CORREDOR



Acción D1: Explotación y Replicación RD 1.5 Manual de las aplicaciones y uso de tecnologías para generar un mayor valor añadido a la biomasa forestal.

D1.2 Plan de Replicación

10/12/2025

www.bioforin.com



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Plan de Recuperación,
Transformación
y Resiliencia



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU

Bioforin cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.



BIOFORIN

GESTIÓN BIOREGIONAL
DE LOS RECURSOS FORESTALES
PARA LA NUEVA BIOECONOMÍA INDUSTRIAL



Tabla de contenido

Introducción al manual	2
Combustión Directa	4
Pretratamientos de biomasa forestal orientados a potenciar su valoración por digestión anaerobia	6
Procesos termoquímicos para la valorización de recursos forestales	7
Biochar como filtro de purificación de biogás	10
Biochar en el tratamiento de efluentes acuosos	12
Biochar en la agricultura	14
Biochar en el proceso de compostaje y digestión anaerobia	16



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Plan de Recuperación,
Transformación
y Resiliencia



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU

BioForin cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.



BIOFORIN

GESTIÓN BIOREGIONAL
DE LOS RECURSOS FORESTALES
PARA LA NUEVA BIOECONOMÍA INDUSTRIAL



Introducción al manual

La biomasa forestal constituye uno de los recursos renovables con mayor potencial para impulsar modelos de economía circular, transición energética y bioeconomía territorial. Su disponibilidad constante, su origen local y su carácter neutro en carbono la sitúan como un elemento estratégico para la descarbonización, la diversificación productiva y la gestión sostenible de los ecosistemas forestales. Sin embargo, su aprovechamiento tradicional ha estado limitado, en muchos casos, a usos de bajo valor añadido, como la generación de calor o el compostaje básico.

En este contexto, el presente manual tiene como objetivo poner a disposición de otros territorios, agentes del sector y entidades públicas un conjunto de tecnologías y aplicaciones que han demostrado capacidad real para incrementar el valor económico, ambiental y social de la biomasa forestal, a partir de la evidencia generada en el proyecto.

Un manual orientado a la replicación

El propósito central de este manual es ofrecer una guía práctica que facilite la replicación y adaptación regional de las tecnologías y aplicaciones demostradas. Para ello, cada ficha descriptiva incorpora:

- Descripción técnica de la tecnología o aplicación.
- Parámetros operativos clave.
- Resultados experimentales obtenidos durante el proyecto.
- Ventajas y limitaciones identificadas.
- Requisitos, recomendaciones y condiciones para su implementación en otras regiones.

Con ello, se proporciona una herramienta útil para empresas del sector forestal, gestores de biomasa, estaciones depuradoras, cooperativas agrícolas, centros tecnológicos y administraciones públicas, permitiendo diseñar estrategias de valorización adaptadas a la disponibilidad de biomasa y a las necesidades locales.

Hacia una bioeconomía forestal sostenible

La valorización avanzada de la biomasa forestal no solo contribuye a la mitigación climática y al desarrollo rural, sino que también fomenta la innovación tecnológica y la creación de nuevos mercados bio-basados. Los resultados presentados demuestran que, mediante el uso adecuado de tecnologías termoquímicas, pretratamientos y aplicaciones del biochar, es posible transformar un recurso infrautilizado en productos de alto valor añadido que mejoran la sostenibilidad ambiental y la competitividad del territorio.

Este manual constituye, por tanto, un paso clave para **impulsar la bioeconomía forestal**, acelerar la transferencia de conocimiento y facilitar la adopción de soluciones replicables que promuevan un uso más eficiente, inteligente y circular de los recursos forestales.



Plan de Recuperación,
Transformación
y Resiliencia



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU



BIOFORIN

GESTIÓN BIOREGIONAL
DE LOS RECURSOS FORESTALES
PARA LA NUEVA BIOECONOMÍA INDUSTRIAL



Objetivo acción: Explotar los resultados del proyecto, para consolidar el modelo de gestión bioregional y de bioeconomía, compatibilizando una oportunidad para una gestión sostenible y resiliente de las masas forestales, con la valorización efectiva de los nuevos bioproductos y aplicaciones innovadoras. Por otro lado, con el ánimo que otras regiones españolas se beneficien del modelo de gestión bioregional de este proyecto, se promoverá la replicación y transferibilidad del proyecto, con la finalidad de catalizar un proyecto económico, político y social inclusivo a escala nacional, y que se necesita con urgencia.

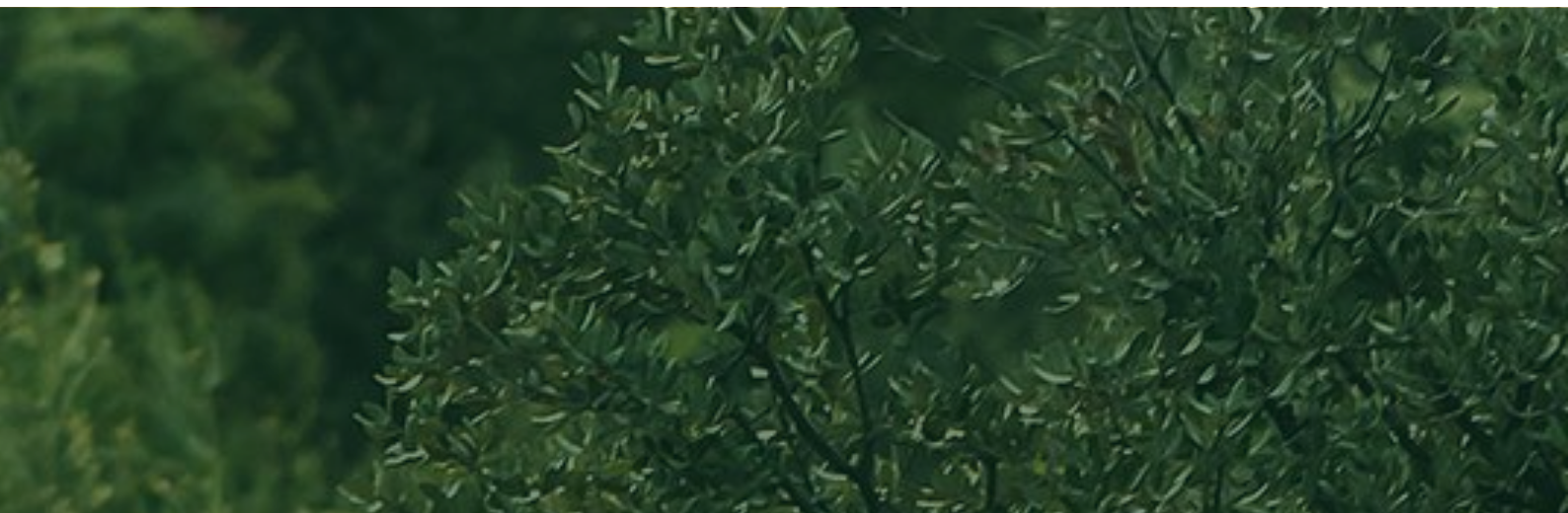
D1.2 Plan de Replicación (PUBLICACIÓN WEB)

El objeto de esta acción va dirigido a promover la replicación de los resultados obtenidos en el proyecto. En este sentido, en primera instancia, y relacionado con el Plan de Comunicación, se integrará el contenido necesario de los resultados del proyecto para facilitar la replicación en otras regiones y en forma de fichas descriptivas.

Esta sub-acción incluye los siguientes aspectos:

- Elaboración de informe de las principales aplicaciones y uso de tecnologías para generar un mayor valor añadido a la biomasa forestal.

Cada ficha debe ocupar idealmente 1-2 páginas y permitir que cualquier lector entienda la tecnología sin necesidad de leer todo el manual.





BIOFORIN

GESTIÓN BIOREGIONAL
DE LOS RECURSOS FORESTALES
PARA LA NUEVA BIOECONOMÍA INDUSTRIAL



Combustión Directa

La **combustión directa** de biomasa convierte la energía química almacenada en calor mediante oxidación controlada de la materia orgánica en presencia de oxígeno, generando energía térmica utilizable para calefacción, producción de vapor y generación de electricidad, y produciendo como subproductos gases de combustión (principalmente dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua) y cenizas.

Biomasa

Tipo de biomasa empleada: Pellets de pino comerciales certificados y biomásas forestales locales en forma de astilla (pino piñonero, platanero y castaño).

Origen de la biomasa: Residuos forestales procedentes del macizo del Montnegre-Corredor (Cataluña).

Propiedades relevantes:

- Humedad relativa (HR)
- Poder calorífico
- Composición elemental
- Contenido en cenizas.
- Granulometría



Pino



Platanero



Castaño



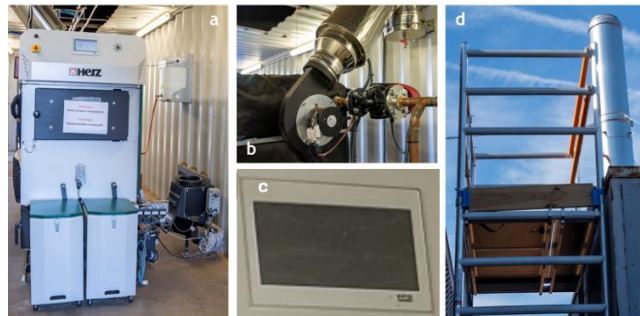
Pellets

Objetivos

- ✓ Evaluar la viabilidad de la combustión directa como vía de valorización energética de biomásas forestales locales.
- ✓ Identificar las emisiones atmosféricas asociadas a la combustión.
- ✓ Analizar la influencia del tipo de biomasa y su acondicionamiento en el rendimiento energético del proceso.
- ✓ Enmarcar el estudio dentro de la normativa europea y estatal vigente en materia de emisiones y calidad del aire.

Parámetros operativos clave

- **Contenido de humedad de la biomasa** (≈10 % y >25 %), ajustado previamente a los ensayos.
- **Parametrización de la caldera** calibración de operación de la caldera por tipo de biomasa
- **Temperatura de combustión y de humos.**
- **Exceso de aire / concentración de O₂.**

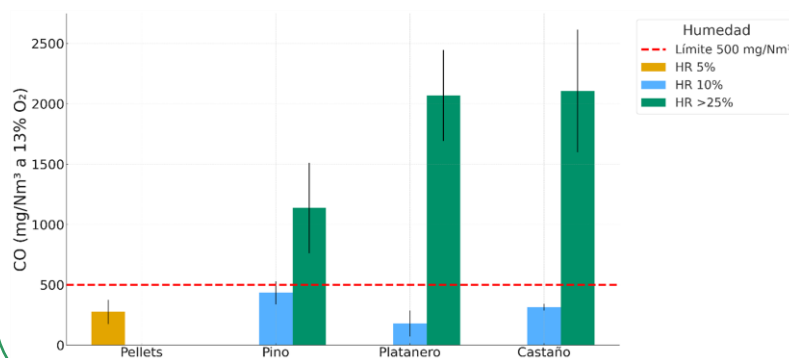


Resultados tipo de biomasa

- ✓ Las Biomásas ensayadas (pino, platanero y castaño) con contenidos de HR <10 % mostraron una estabilidad de combustión comparables (>500 ° C).
- ✓ El aumento de la HR implica un mayor consumo horario de biomasa y una reducción del aprovechamiento energético útil de la caldera, especialmente en platanero y castaño.
- ✓ Con HR del 10% la caldera opera de forma estable con rendimientos térmicos de ≈0,85–0,88, mientras que a HR>25%, aunque el rendimiento de caldera se mantiene (≈0,88–1,00) disminuye la eficiencia energética global.

Resultados emisiones CO

Las emisiones de monóxido de carbono (CO) aumentan de forma significativa en biomásas húmedas debido a que se realiza una combustión incompleta (>500 mg/Nm³).



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Plan de Recuperación,
Transformación
y Resiliencia



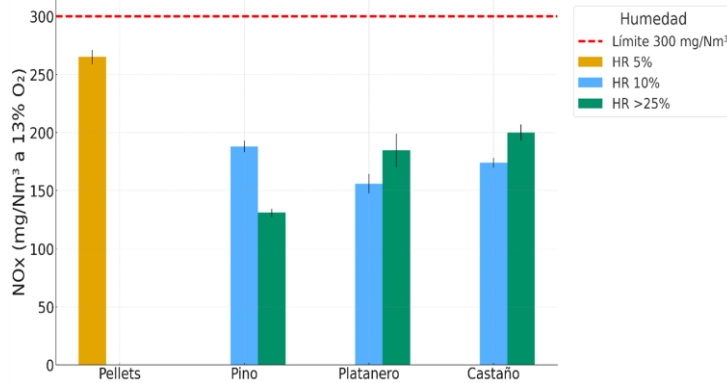
Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU

BioForin cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.



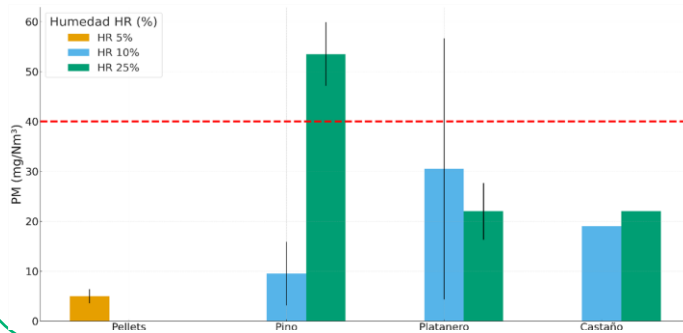
Resultados emisiones NO_x

Las emisiones de NO_x se mantuvieron dentro de los límites normativos (<500 mg/Nm³) en todos los ensayos.



Resultados emisiones partículas

Las emisiones de partículas (PM) fueron menores en biomásas más homogéneas y secas (<40 mg/m³), como los pellets y biomásas con una HR <10%.



Limitaciones

- **Dependencia de la calidad y humedad de la biomasa**, que puede variar según el territorio.
- **Riesgo de mayores emisiones** si no se dispone de un adecuado control operativo y de combustible.
- **Necesidad de logística y pretratamiento** (secado, almacenamiento) para garantizar resultados comparables.

Ventajas

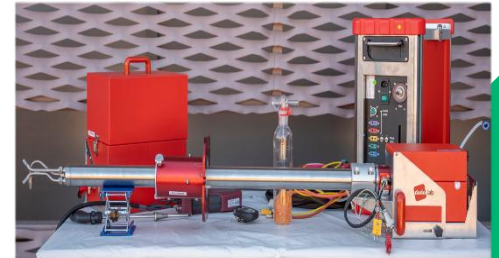
- **Tecnología madura y ampliamente disponible**, fácilmente transferible a otros territorios.
- **Aprovechamiento de recursos forestales locales**, favoreciendo modelos de economía circular y km-0.
- **Escalabilidad** en instalaciones pequeñas y medianas con inversión moderada.

Condiciones de replicación

Técnicas, económicas o ambientales

Potencial de escalado

- **Disponibilidad de biomasa forestal local** con suministro regular y volumen suficiente.
- **Control del contenido de humedad**, preferentemente mediante secado previo y almacenamiento adecuado.
- **Instalaciones de combustión adecuadas**, con sistemas de control de aire y alimentación adaptables a distintos biocombustibles.
- **Cumplimiento de la normativa ambiental vigente**, especialmente en relación con emisiones de CO y partículas.
- **Personal técnico capacitado** para la correcta operación y parametrización de las calderas.



Conclusión: La combustión directa es una tecnología eficaz y madura para la valorización de biomasa forestal local.

El proyecto ha demostrado buen rendimiento energético, viabilidad operativa y potencial de reducción de residuos forestales, siempre que se controle la calidad del combustible.



BIOFORIN

GESTIÓN BIOREGIONAL
DE LOS RECURSOS FORESTALES
PARA LA NUEVA BIOECONOMÍA INDUSTRIAL



Pretratamientos de biomasa forestal orientados a potenciar su valoración por digestión anaerobia

Los productos forestales suelen ser ricos en lignina, un compuesto de muy difícil degradación por vías naturales, resultando en un impedimento a la hora de utilizarlos en procesos como la digestión anaerobia.

La degradación (hidrólisis) asistida de estos compuestos recalcitrantes facilita su valorización en procesos biológicos

Objetivo

- ✓ Comparar el rendimiento energético de diferentes tipologías de biomasa forestal y analizar la calidad de los gases emitidos, comparando aquellas fracciones antes y después de ser tratadas

Tratamientos

- Hojas de roble
- Tratamientos: extracción con GVL - agua, hidrólisis enzimática y un control con el mismo buffer que la enzimática.

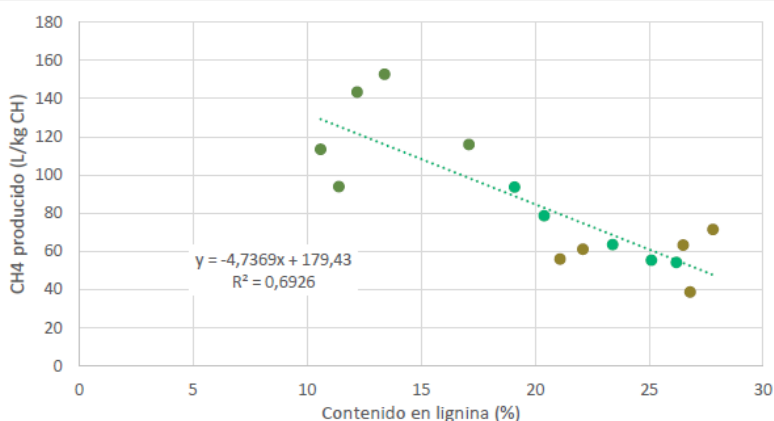
Parámetros operativos clave

- Extracción GVL: 121°C
- Hidrólisis enzimática: 50°C
- Tiempo de aplicación:
 - Extracción: GVL 1h
 - Hidrólisis enzimática: 5h
- Trituración sin tamizado
- Configuración en un solo reactor, con diferentes pasos.
- Extracción en botella ISO, solo 1. Hidrólisis enzimática en vaso de precipitados.

Resultados

Resultados principales

- El tratamiento de las hojas de roble gana interés debido a la falta de usos alternativos.
- El contenido y distribución lignocelulósicas de las hojas de roble es más similar a la biomasa herbácea que a la composición de la madera leñosa
- Los resultados obtenidos son más extrapolables a la biomasa herbácea que a la biomasa leñosa
- El pretratamiento por Organosolv es el más prometedor como vía de valorización de las hojas de roble



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Plan de Recuperación,
Transformación
y Resiliencia



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU

BioForin cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.

**BIOFORIN**GESTIÓN BIOREGIONAL
DE LOS RECURSOS FORESTALES
PARA LA NUEVA BIOECONOMÍA INDUSTRIAL

Procesos termoquímicos para la valorización de recursos forestales

La gasificación es un proceso “residuo 0” que consiste en una descomposición térmica sin oxidación completa que genera productos de valor como biochar, aceite pirolítico y gas de síntesis

Tratamientos

- Se han evaluado 10 mezclas de fracciones
- Origen forestal y tratamiento de fracción orgánica e inorgánica
- Mezclas definidas según composición elemental de las fracciones, contenido lignocelulósico, cantidad de cenizas...
- Biochar activado posteriormente según aplicación dedicada

Objetivo

- Comparar el rendimiento energético de diferentes tipologías y mezclas de biomasa forestal y analizar la calidad de los gases generados
- Evaluar las propiedades del biochar generado por las distintas mezclas de productos forestales para aplicaciones como descontaminación de gases, aguas y suelos

Parámetros operativos clave

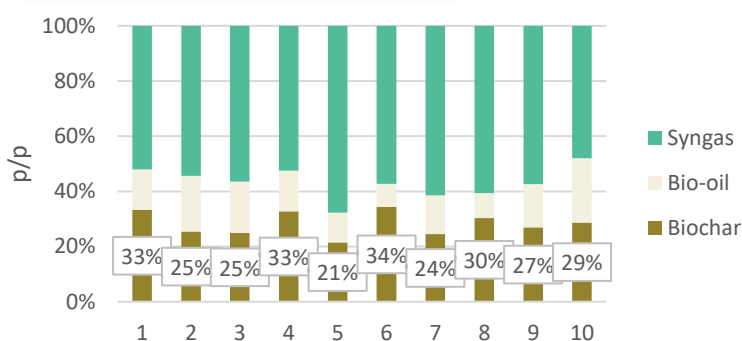
- Temperatura: 750°C
- Tiempo de residencia: 30 minutos
- Tamaño de partícula: 2 mm
- Instalación utilizada: Planta de gasificación
- Configuración del sistema: Reactor de lecho fijo
- Activaciones físicoquímicas específicas para cada aplicación

Resultados

Resultados principales

- Producción de entre el 20 y el 35% de biochar
- Obtención de una corriente de gas de síntesis con un poder calorífico aproximado de 10 MJ/kg
- Gas de síntesis rico en hidrógeno y CO₂
- Biochar específicamente generado para retirar H₂S y CO₂ de una corriente de biogás
- Biochar específicamente generado para retirar PFAS y metales de una corriente de agua residual
- Biochar específicamente generado para fertilizar suelos agrícolas

Gráficos

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICOPlan de Recuperación,
Transformación
y ResilienciaFinanciado por
la Unión Europea
NextGenerationEU

BioForin cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU.



BIOFORIN

GESTIÓN BIOREGIONAL
DE LOS RECURSOS FORESTALES
PARA LA NUEVA BIOECONOMÍA INDUSTRIAL



Limitaciones

- Los costes de inversión de una planta de gasificación pueden ser muy elevados
- El material de entrada a planta deber tener una humedad inferior al 10%
- El proceso de activación de los biochar es específico para cada aplicación a la que destine

Ventajas

- Se da un valor muy elevado a fracciones de biomasa y de residuos que carecían de él
- Se reducen las extracciones de materias primas y de combustibles fósiles, pudiendo ser sustituidos por los productos generados por la gasificación

Condiciones de replicación

Técnicas, Económicas o Ambientales

Potencial de escalado

- TRL actual en España = 7
- Aplicabilidad industrial limitada
- Requiere una infraestructura costosa y personal cualificado tanto para diseño experimental como para operativa de planta
- El volumen mínimo de biomasa depende de la cantidad de biochar que se quiera generar
- Parámetros críticos a controlar: Temperatura, presión y atmósfera en el interior del reactor

Conclusión: Relevancia de la tecnología para la valorización de biomasa forestal.

Beneficios demostrados en el proyecto



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Plan de Recuperación,
Transformación
y Resiliencia



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU

BioForin cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU.

The background image shows a dense forest with many green trees. The ground is covered in a thick layer of brown, dry leaves and twigs, suggesting a forest floor. The text is centered over the image.

**Manual de aplicaciones
para generar un mayor
valor añadido a la
biomasa forestal**



BIOFORIN

GESTIÓN BIOREGIONAL
DE LOS RECURSOS FORESTALES
PARA LA NUEVA BIOECONOMÍA INDUSTRIAL



Biochar como filtro de purificación de biogás

La **adsorción con biochar** es una tecnología sostenible para **purificar biogás**, capaz de **retener H_2S y otros contaminantes como CO_2** mediante adsorción física, gracias a su elevada porosidad, área superficial y química superficial. La eficacia del proceso depende del tipo de biomasa, las condiciones de pirólisis, la estructura porosa y la **activación del biochar**, lo que la convierte en una alternativa de bajo coste y con potencial de regeneración.

Objetivo

El objetivo de la acción es la retención de H_2S y CO_2 de una corriente de biogás generado en un proceso de digestión anaerobia, mediante el uso de biochar generado a partir de fracciones forestales y activado específicamente para esta función

Biochar

- ✓ Residuos forestales
- ✓ Superficie específica: 110-500 m^2/g
- ✓ Porosidad: 38-265 m^2/g
- ✓ Cenizas 1-21 %.
- ✓ Carbono fijo= 76-98 %
- ✓ Materia volátil= 0,7-2,63 %

Propiedades que afectan la captura

- Grado de carbonización
- Área superficial
- Distribución de tamaño y volumen de poro
- Contenido mineral/ cenizas
- Química superficial: grupos funcionales
- Tratamientos físico-químicos

Captura CO_2

Mecanismos: adsorción física determinada por termogravimetría

Resultados:

- ✓ Capacidad de captura favorecida por el área superficial y tamaño de microporos.
- ✓ 31% de mejora de los biochars sin activar frente al biochar comercial.
- ✓ Capacidades de eliminación entre **32 y 45 $mg/g_{adsorbente}$** dependiendo de la mezcla.

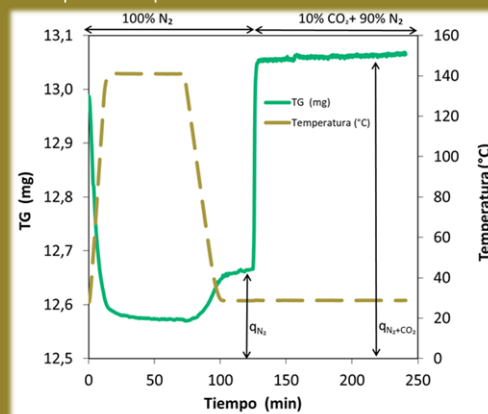
La activación física redujo el volumen de microporos inhibiendo la captura de CO_2 .

Bloqueo de los microporos estrechos tras la activación física y química inhibiendo la captura de CO_2 .

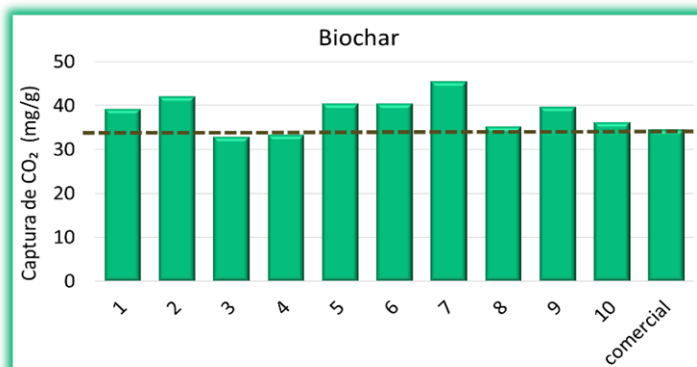
Parámetros operativos clave

El rendimiento del biochar como adsorbente en la purificación de biogás está condicionado por parámetros operativos como:

- Flujo de gas/ tiempo de contacto
- Concentración del contaminante/s
- Presión y temperatura de operación
- Altura y compactación del lecho
- Tiempo de operación



Ensayo tipo: Monitorización de la evolución de la concentración vs. Tiempo



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU

BioForin cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.



BIOFORIN

GESTIÓN BIOREGIONAL
DE LOS RECURSOS FORESTALES
PARA LA NUEVA BIOECONOMÍA INDUSTRIAL



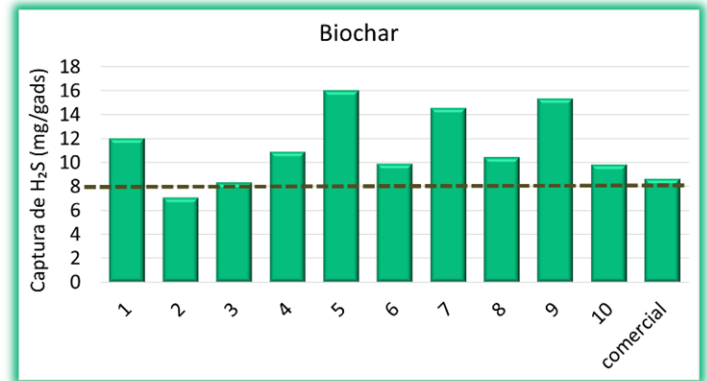
Captura H₂S

Mecanismos: adsorción física en los poros del biochar en el lecho fijo o por adsorción química por oxidación de H₂S a compuestos sulfurados.

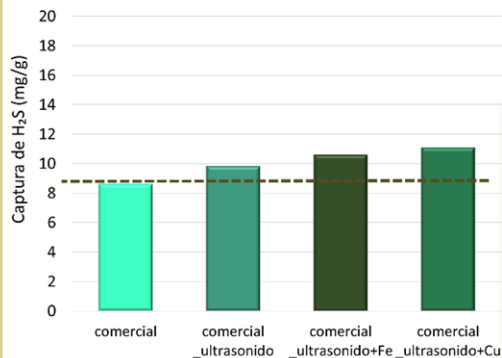
Resultados:

- ✓ Capacidades de eliminación entre **7 y 16 mg/g_{adsorbente}** dependiendo de la mezcla.
- ✓ 86% de mejora de los biochars sin activar frente al biochar comercial.
- ✓ Mejora de hasta el 20% en la eliminación de H₂S al aplicar la activación física.

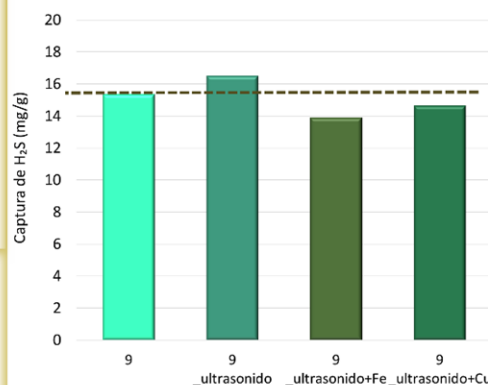
Eliminación por adsorción química: La activación con Fe o Cu puede bloquear los poros inhibiendo la eliminación de H₂S.



biochar Comercial



biochar 9



Condiciones de replicación

- Mantener condiciones operativas constantes: caudal de gas, composición de la corriente de entrada
- Mantener la misma configuración experimental: tipo de reactor, geometría, masa de adsorbente.
- Ajustar concentración de contaminantes a aplicaciones reales.
- Preparación homogénea del adsorbente antes de cada ensayo.

Potencial de escalado

- TRL 5-7 para H₂S
- TRL 4-6 para CO₂

Limitaciones

- Adsorción limitada por el área superficial y microporos del material
- Limitación de la selectividad entre gases de tamaños similares
- Rápida saturación por elevada concentración de contaminantes
- Bloqueo de la porosidad o destrucción de los microporos al someterlo al aplicar ultrasonido

Ventajas

- ✓ Bajo coste del material adsorbente al emplear biochar procedente de residuos forestales
- ✓ La alternativa de activación física reduce los costes operativos y de gestión de residuos
- ✓ Integración del biochar en plantas de biogás rurales y agroindustriales

La adsorción con biochars obtenidos de residuos forestales es una tecnología prometedora para la eliminación de H₂S y CO₂ con eficiencias superiores a algunos biochars comerciales. Este enfoque ofrece bajo coste, sostenibilidad y potencial de regeneración, siendo especialmente atractivo para plantas de biogás descentralizadas o de pequeña y mediana escala. Las diferencias entre materiales destacan la importancia de seleccionar adecuadamente el biochar y optimizar los parámetros operativos antes de su escalado.



BIOFORIN

GESTIÓN BIOREGIONAL
DE LOS RECURSOS FORESTALES
PARA LA NUEVA BIOECONOMÍA INDUSTRIAL



Biochar en el tratamiento de efluentes acuosos

La **adsorción con biochar** es una **tecnología de tratamiento** basada en la capacidad del material carbonoso para **retener contaminantes** presentes en el agua gracias a su alta porosidad, superficie específica, grupos funcionales superficiales y capacidad de intercambio iónico. Dependiendo del biochar y de su activación, puede retener eficientemente **metales pesados, nutrientes (NH_4^+ , NO_3^-) y contaminantes orgánicos persistentes como PFAS.**

Objetivo

- Comparación entre biochars de distinta procedencia forestal, mezclas y características.
- Análisis de mecanismos de adsorción para cada tipo de contaminante.
- Determinación de las condiciones óptimas de operación y su potencial de replicación a mayor escala.

Biochar

- ✓ Residuos forestales / gasificación en lecho fijo a 700 °C.
- ✓ Superficie específica: 110-500 m²/g.
- ✓ Porosidad: 38-265 m²/g.
- ✓ Cenizas 2 - 20%.
- ✓ pH: 8-12 (alcalino).

Propiedades que afectan la adsorción:

- Área BET y tamaño de poro
- Contenido en cenizas y minerales
- pH del material
- Carga superficial (PZC)/química
- Activación (física/química)



Parámetros operativos clave

- Ensayo tipo: batch (24 h, 150 rpm).
- Masa de biochar: 1 g por 50 mL.
- Matrices estudiadas:
 - Aguas contaminadas con PFAS (10 µg/l)
 - Aguas contaminadas con (NO_3^- = 1257 mg/l)
 - Digestato líquido con alto (NH_4^+ = 688 mg/l)
 - Aguas con metales pesados (Cu 160 µg/l; Zn 750 µg/l y Pb 50 µg/l)

Monitorización: pH, conductividad, concentración inicial vs. final de contaminantes.

Amonio (NH_4^+) – Digestato líquido

Mecanismos: intercambio catiónico, captura en microporos, unión electrostática.

Resultados:

- Capacidades de eliminación entre **3-16 %** dependiendo de la mezcla.
- Biochars con mayor carga negativa y mayor contenido de minerales mostraron mejor rendimiento.
- Competencia con otros cationes (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) puede reducir la eficiencia.

Nitratos (NO_3^-) – Aguas EDAR

Mecanismos: adsorción aniónica limitada (el biochar no es muy eficaz con NO_3^- sin activación).

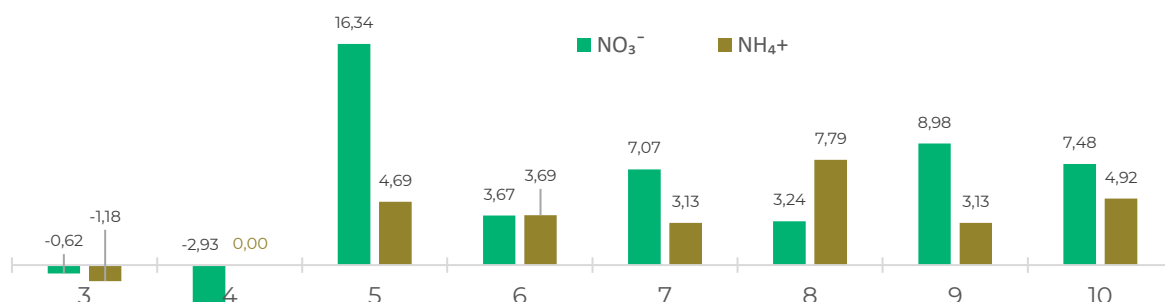
Resultados:

Eliminación baja <20 %, debido a:

- carga superficial negativa del biochar
- competencia con otros aniones (Cl^- , SO_4^{2-})

La activación con Mg-Na puede incrementar la retención.

Mezcla	Composición
1	Mezcla de coníferas - Tronco = 40% Alcornoque - Corteza = 30% Encina - Tronco = 20% Pino piñonero - Corteza = 10%
2	Mezcla de coníferas - Tronco = 24% Alcornoque - Corteza = 18% Encina - Tronco = 12% Pino piñonero - Corteza = 6% Hojas = 40%
3	Mezcla de coníferas - Tronco = 24% Alcornoque - Corteza = 18% Encina - Tronco = 12% Pino piñonero - Corteza = 6% FORM = 40%
4	Mezcla de coníferas - Tronco = 24% Alcornoque - Corteza = 18% Encina - Tronco = 12% Pino piñonero - Corteza = 6% Digestato = 40%
5	Encina (Q. ilex) - Tronco = 100%
6	Mezcla de coníferas (Coniferae/Pinopsida) - Corteza = 100%
7	Mezcla de coníferas - Tronco = 100%
8	Pino piñonero (P. pinea) - Corteza = 100%
9	Roble (Q. humilis) - Tronco = 100%
10	Alcornoque (Q. suber) - Corteza = 100%



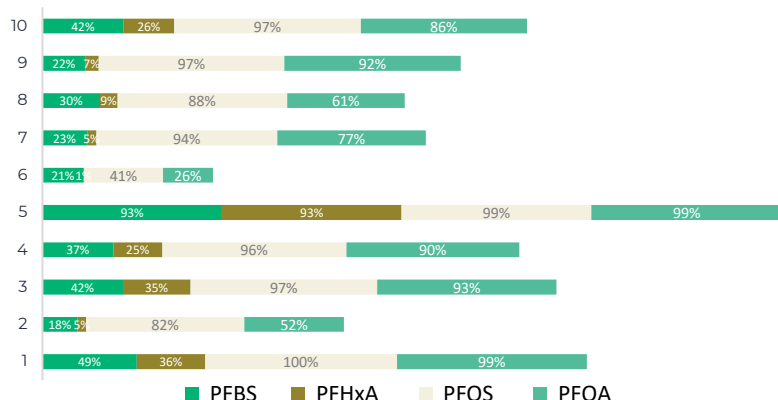
Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU

BioForin cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.



BIOFORIN

GESTIÓN BIOREGIONAL
DE LOS RECURSOS FORESTALES
PARA LA NUEVA BIOECONOMÍA INDUSTRIAL



Metales pesados

Mecanismos: complejación superficial, precipitación inducida, intercambio catiónico.

Resultados:

- Adsorciones de **Cu, Zn, Pb >90%** en todas las mezclas, la presencia de FORM afecta la adsorción de Ba.
- Mejor desempeño en biochars con:
 - mayor contenido de cenizas (mayor alcalinidad)
 - mayor superficie específica
 - pH alto → favorece precipitación/retención de metales

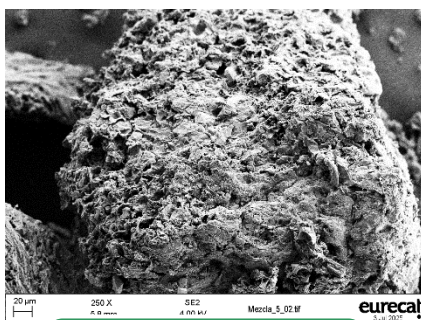


Imagen SEM del biochar más prometedor proveniente de la mezcla 5 (Encina (*Q ilex*)-Tronco).

Limitaciones

- Adsorción limitada de NO_3^- sin activación química específica.
- El pH alcalino del biochar puede modificar la química de la matriz.
- Rendimiento dependiente de competencia iónica y composición del agua.
- PFAS requieren biochars de porosidad muy específica para alta eficacia.

Orgánicos perfluoroalquilados - PFAS

Mecanismos: interacción hidrofóbica, adsorción en microporos, unión con superficies carbonosas.

Resultados:

- ✓ Biochars específicos alcanzaron eficiencias **>90%** en PFAS de cadena larga PFOS-PFOA.
- ✓ Para PFAS de cadena corta PFBS y PFHxA solo la mezcla de Tronco de encina tuvo adsorción **>90%**
- ✓ La capacidad depende fuertemente de:
 - área BET
 - microporosidad (<2 nm)
 - mayor carga superficial

Condiciones de replicación

- Ajustar dosis biochar en aplicaciones reales.
- Controlar pH inicial y final (especialmente en matrices sensibles).
- Identificar contaminantes dominantes para seleccionar biochar adecuado.
- Realizar pruebas en columna dinámicas antes de escalado (para evaluar ruptura).

Potencial de escalado

- TRL 5-7 según contaminante.
- Alta replicabilidad en sistemas de tratamiento agrícola e industrial.
- Compatible con humedales construidos y filtros percoladores.

Ventajas

- Bajo coste y alta disponibilidad del biochar frente a adsorbentes sintéticos.
- Reducción de contaminantes diversos con un solo material.
- Apto para aguas industriales, agrícolas y digestatos.
- Se puede regenerar o valorizar posteriormente

La adsorción con biochar es una tecnología prometedora para tratar metales, NH_4^+ y PFAS con eficiencias medias-altas, mientras que la eliminación de NO_3^- requiere biochars modificados o combinaciones con otras tecnologías. El enfoque ofrece **bajo coste, sostenibilidad, y gran potencial de replicación**, siendo especialmente atractivo para efluentes agrícolas y digestatos. Las diferencias subrayan la necesidad de selección adecuada del biochar y optimización de parámetros operativos antes del escala.



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Plan de Recuperación,
Transformación
y Resiliencia



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU

BioForin cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU.



BIOFORIN

GESTIÓN BIOREGIONAL
DE LOS RECURSOS FORESTALES
PARA LA NUEVA BIOECONOMÍA INDUSTRIAL



Biochar en la agricultura

El biochar es un material carbonoso obtenido por pirólisis o gasificación de biomasa forestal. En agricultura actúa como enmienda del suelo, **mejorando la estructura, la retención de agua, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), y contribuyendo al secuestro de carbono**. Su elevada porosidad favorece el desarrollo microbiano y modula la disponibilidad de nutrientes.

Biochar

- ✓ Residuos forestales / gasificación en lecho fijo a 700 °C.
- ✓ Superficie específica: 110-500 m²/g.
- ✓ Porosidad: 38-265 m²/g.
- ✓ Cenizas 2 - 20%.
- ✓ pH: 8-12 (alcalino).

Biochar usado en campo

- Restos forestales (astilla, poda, madera) / pirólisis 450°
- C orgánico: 70 %
- Cenizas 5%.
- pH: 8-12 (alcalino)

Germinación y crecimiento temprano

- Incremento del porcentaje de germinación entre 4-12 %, según dosis y tipo de biochar.
- Aumento del desarrollo radicular temprano (+10-18 %) gracias a la mayor aireación del sustrato.
- Incremento de biomasa aérea entre 5-15 %.
- Mejor tolerancia al estrés hídrico moderado, atribuida a la mayor capacidad de retención de agua del biochar.

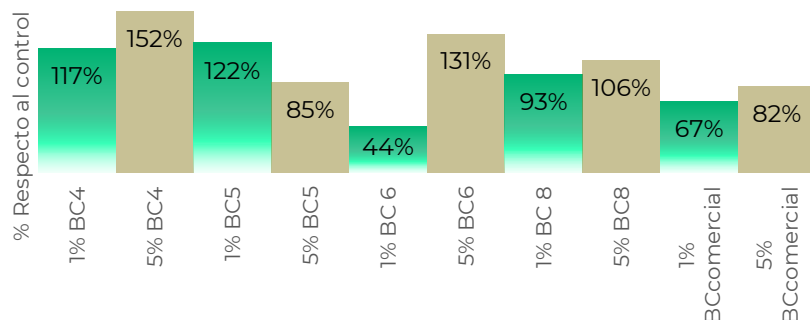
Objetivo

- Evaluar la eficacia del biochar producido a partir de biomasa forestal como enmienda agrícola
- Estudiar sinergias con purín como enmienda orgánica
- Ensayos en campo para determinar impactos agronómicos reales sobre la calidad del suelo

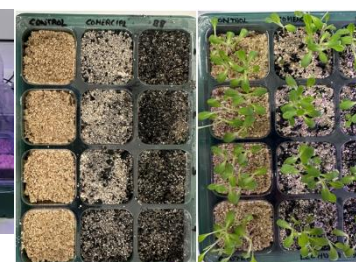
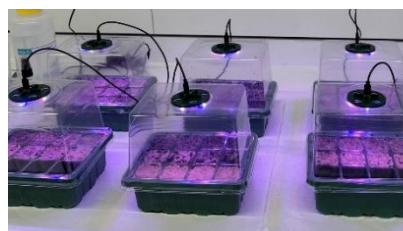
Parámetros operativos clave

- Ensayo de germinación y crecimiento: biochar mezclado en proporciones del 1-5 % en masa con el sustrato.
- Ensayo en campo: aplicación de 5-20 t/ha, incorporado a 0-20 cm de profundidad.
- Tratamientos comparados:
 - Control sin enmienda
 - Biochar solo
 - Biochar + purines semisólidos
- Cultivos empleados: hortalizas (p. ej. lechuga, guisante, col) según adaptación regional.

Índice de vigor integrado (BS)



Mezcla	Composición
4	Mezcla de coníferas - Tronco = 24% Alcornoque - Corteza = 18% Encina - Tronco = 12% Pino piñonero - Corteza = 6% Digestato = 40%
5	Encina (Q. ilex) - Tronco = 100%
6	Mezcla de coníferas (Coniferae/Pinopsida) - Corteza = 100%
8	Pino piñonero (P. pinea) - Corteza = 100%
comercial	100% PINO / 450°C



Unidades experimentales, semilleros. T=14 días y condiciones controladas de fotoperíodo, humedad y temperatura



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Plan de Recuperación,
Transformación
y Resiliencia



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU

BioForin cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.



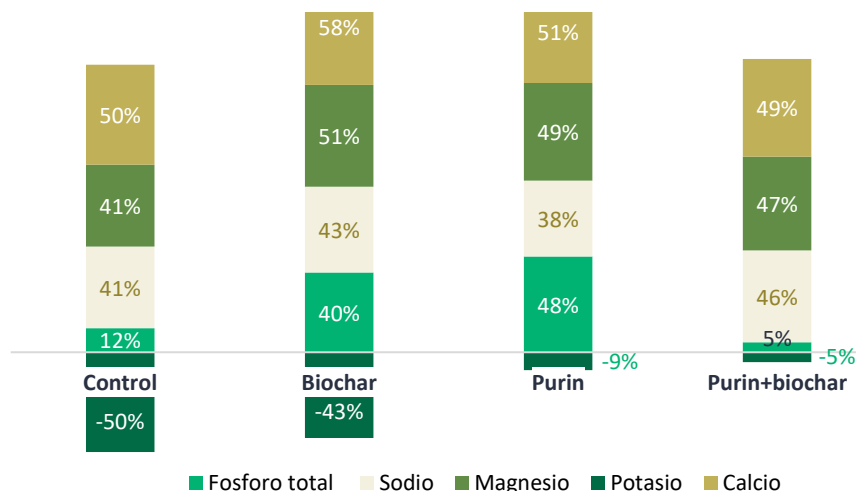
BIOFORIN

GESTIÓN BIOREGIONAL
DE LOS RECURSOS FORESTALES
PARA LA NUEVA BIOECONOMÍA INDUSTRIAL

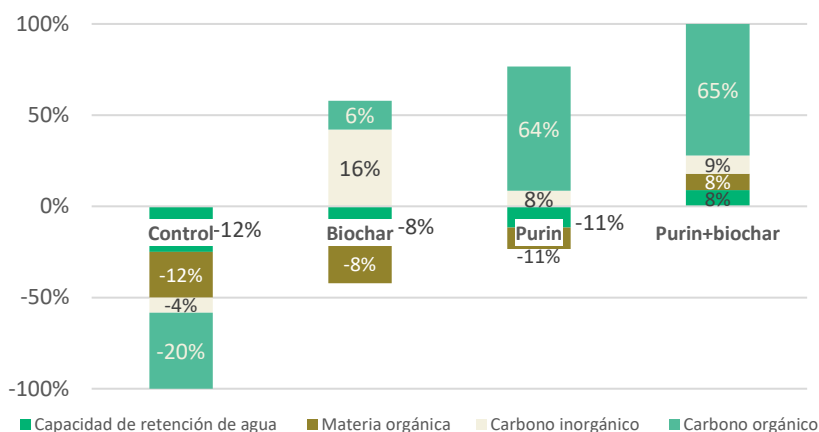


Ensayo en campo

- Aumento del pH entre 0,3–0,7 unidades con el uso del biochar.
- Incremento de la materia orgánica entre 18–30 %.
- Los tratamientos con biochar disminuyen entre 16 y 36% de nitratos (NO_3^-) comparado con el tratamiento de solo purín que aumenta en 23% NO_3^- .
- Retención de agua aumenta en 35 % en los tratamientos con biochar.



Los gráficos (P, Na, Mg, K y C inorg, Corg, MO y capacidad de retención de agua, presentan los valores en (%) respecto al cambio de cada parámetro entre las campañas de verano y otoño (t=3 meses) en cada tratamiento.



En la imagen se observa la parcela con tratamiento combinado de purin+biochar y a la derecha el tratamiento control. El cultivo sigue en proceso. Huerta ecológica ubicada en Girona -Cataluña

Condiciones de replicación

- Análisis inicial del suelo obligatorio
- Selección de dosis adaptada a objetivos y tipo de suelo (5–15 t/ha recomendado).
- Combinación con compost para suelos pobres en N o purines en cultivos exigentes.
- Disponibilidad de maquinaria para mezclar en los primeros 20 cm.
- Capacitación básica del personal técnico.

Potencial de escalado

TRL 7–8: tecnología madura y ampliamente replicable.

Transferible a cultivos hortícolas, leñosos y sistemas de agricultura regenerativa.

Compatible con políticas de economía circular y aprovechamiento de biomasa forestal.

Limitaciones

- Efecto alcalinizante: requiere precaución en suelos ya alcalinos.
- Eficacia reducida sin fuente complementaria de nutrientes (recomendación: combinar con enmiendas orgánicas).
- Dosis muy altas pueden ser perjudiciales.
- Requiere incorporación mecánica uniforme para maximizar beneficios.

Ventajas

- Mejora integral de la calidad del suelo (pH, MO, CIC, estructura).
- Aumento de la eficiencia del riego y reducción del estrés hídrico.
- Mejora del establecimiento temprano del cultivo y del rendimiento final.
- Contribución al secuestro de



Los resultados de los ensayos de germinación, crecimiento temprano y campo confirman que el biochar es una enmienda agrícola eficaz, especialmente en suelos con baja materia orgánica o escasa retención de agua. Su efecto es notable en las primeras etapas de desarrollo del cultivo y se consolida a lo largo de la campaña agrícola, especialmente cuando se combina con enmiendas orgánicas como los purines.



VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Plan de Recuperación,
Transformación
y Resiliencia



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU

BioForin cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU.



BIOFORIN

GESTIÓN BIOREGIONAL
DE LOS RECURSOS FORESTALES
PARA LA NUEVA BIOECONOMÍA INDUSTRIAL



Biochar en el proceso de compostaje y digestión anaerobia

Por sus propiedades físicoquímicas, el biochar es un material prometedor para su incorporación en procesos biológicos aerobios y anaerobios

Objetivo

- Estudio de la afectación de la presencia de biochar en los procesos de digestión anaerobia y compostaje aerobio en comparación a los mismos procesos sin esta presencia.

Biochar

En digestión anaerobia

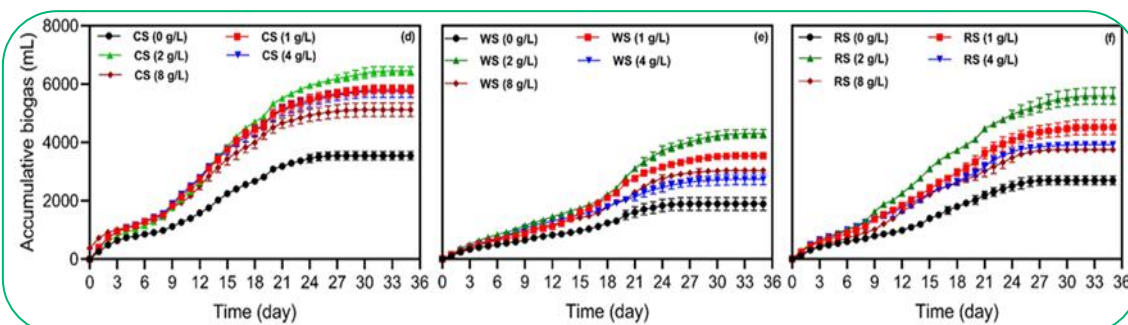
- Área superficial elevada, que permite la fijación de microorganismos
- Capacidad reguladora de pH, dificultando la acidificación del reactor debido a la propia actividad microbiana
- Aportación de nutrientes al medio

En compostaje aerobio

- Área superficial elevada, que permite la fijación de microorganismos
- Adsorción de compuestos sulfurosos y nitrogenados, evitando emisión de malos olores
- Captura y liberación gradual de agua, manteniendo niveles de humedad estables

Digestión anaerobia

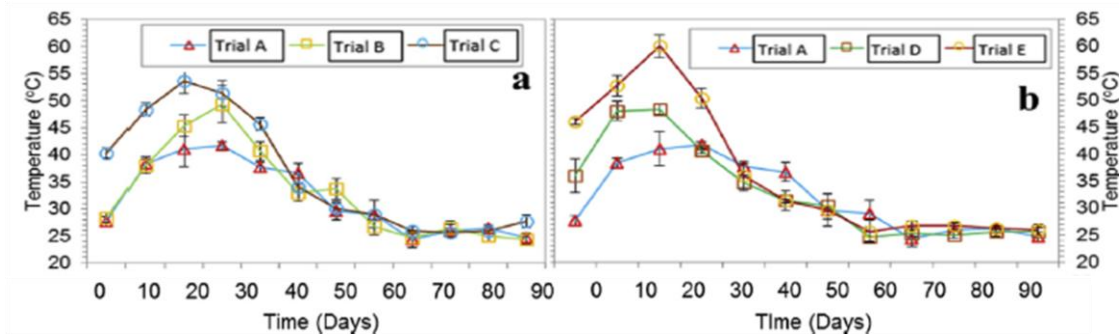
- La adición de biochar mejora la producción de biometano en un proceso de digestión anaerobia
- Los microorganismos crean biofilms alrededor de las partículas de biochar
- El exceso de biochar causa inhibición al proceso (límite según el sustrato tratado)



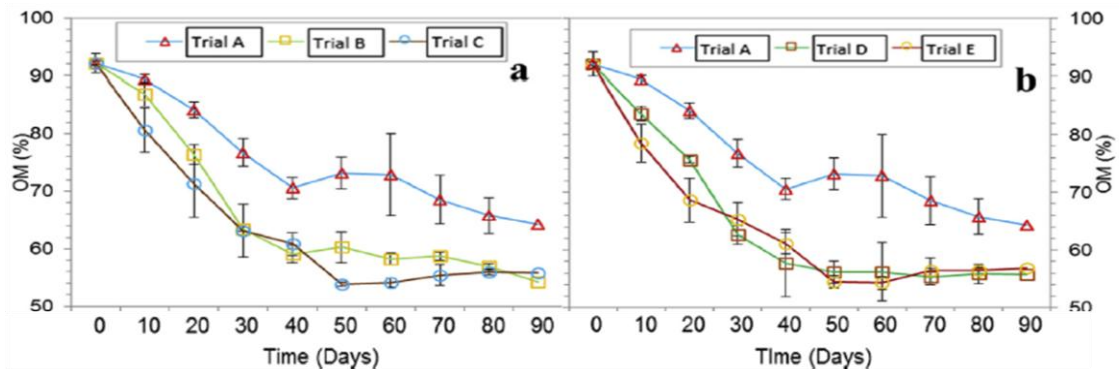


Compostaje

- La aplicación de biochar durante el proceso de compostaje, ayuda a alcanzar una temperatura de proceso que salta de rango mesófilo a rango mesófilo (de 40 a 60°C), llegando así a unas condiciones de mayor capacidad de eliminación de microorganismos patógenos



- El biochar favorece la velocidad de proceso de compostaje, reduciendo los tiempos de transformación de la materia orgánica



- El biochar reduce la concentración generada de NH_4^+ , favoreciendo la producción de NO_3^- .

Limitaciones

El exceso de biochar en un digestor anaerobio causa inhibición del proceso, reduciendo o deteniendo la producción de biometano

Una cantidad excesiva en procesos de compostaje puede restar calidad al compost final y aumentar su coste de producción

Ventajas

- La concentración añadida de biochar a los procesos de digestión anaerobia puede ayudar a una mayor producción de biometano
- Su aplicación en procesos de compostaje aerobio puede ayudar a aumentar la temperatura de proceso, reducir los tiempos de trabajo y disminuir la producción de amonio en favor de la de nitrato

