

GUÍA DE ACTUACIÓN PARA LA VALORIZACIÓN DE RECURSOS AGROFORESTALES MEDIANTE PIRÓLISIS

F RTEX VAL



FORTEXVAL 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.

3	Proyecto FORTEXVAL
4	¿Qué es la pirólisis? ¿Qué es el biochar?
9	Beneficios de usar biochar como remediación de suelos
12	Caso práctico
12	Contextualización
13	Objetivos
13	Selección de materia prima
15	Selección de especies dentro del proyecto Fortexval procedentes de la mancomunidad Reserva de Saja
18	Proceso de pirólisis
21	Recomendaciones
22	Referencias

Proyecto FORTEXVAL

FORTEXVAL persigue el desarrollo de un nuevo modelo de bioeconomía circular de gestión forestal basado en la valorización de recursos agroforestales mediante la utilización de tecnologías de baja huella de carbono. Estas tecnologías van desde la recogida del material con técnicas de tracción animal que reducen el impacto ambiental durante la explotación forestal; pasando por la pelletización in situ de la biomasa, lo que reduce los requerimientos logísticos y facilita su manejo; hasta la obtención de nuevos productos de alto valor a través del acondicionamiento y procesado del material de partida.

El proyecto plantea dos vías de valorización, por una parte la utilización de material biomásico para la fabricación de biochar (carbón vegetal cuyo uso se destina a la mejora de propiedades del suelo) mediante la pirólisis de la materia prima. Por otra parte, la incorporación de biomasa en materiales poliméricos para la fabricación de componentes termoplásticos reforzados, orientados al sector de la automoción. El proyecto evalúa el diseño de ambos productos (biochar y termoplásticos reforzados) por su potencial de comercialización y su bajo impacto ambiental.

El proyecto FORTEXVAL 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.

Subvención concedida: 545.323,52 €.

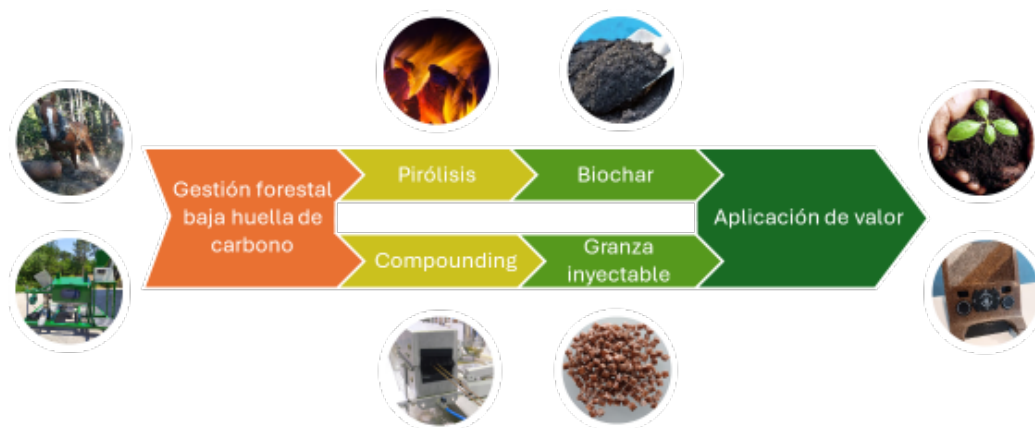


Figura 1. Proyecto FORTEXVAL.

¿Qué es la pirólisis? ¿Qué es el biochar?

La tecnología de pirólisis es un proceso termoquímico mediante el cual, el material orgánico se degrada en una atmósfera en ausencia o escasez de oxígeno¹. La materia prima mediante la acción del calor, a temperaturas entre 300 y 900 °C, es transformada en una mezcla de hidrocarburos, gases combustibles, residuos de carbón y agua. Las transformaciones físicas y químicas que ocurren durante la pirólisis son complejas y dependen de la naturaleza de la biomasa inicial y de las condiciones de pirólisis como la velocidad de calentamiento, temperatura, presión y tiempo de residencia, principalmente².

Del proceso de pirólisis se obtienen tres productos: un sólido llamado biochar, un líquido llamado bioaceite o bio-oil y un gas también conocido como bio-gas, syngas o gas de síntesis (ver *Figura 2*). El biochar es un material inerte compuesto por materiales no combustibles, que no se transformaron o provienen de una condensación molecular con alto contenido de carbón³. El bioaceite está formado por hidrocarburos de cadenas largas, alquitranes, aceites, fenoles y ceras que se han producido a través de reacciones de craqueo y condensación a altas temperaturas, distinguiendo dos fases principalmente, una oleosa y otra acuosa. El gas de síntesis se compone de una mezcla de gases, siendo los más importantes: CO, CO₂, H₂ y CH₄. Este gas es altamente combustible y se destina a la generación de energía (electricidad y calor). La proporción de estos productos depende del tipo de pirólisis que se realice, lenta, intermedia o rápida. Sus principales características se muestran en la siguiente tabla⁴:

¹ CUETO GARCÍA, María Jesús. Potencial de producción de biochar en España a partir de residuos de la industria papelera, de lodos de EDAR, de residuos sólidos urbanos y de residuos ganaderos: Estudio de la fijación de carbono. 2016. Tesis Doctoral. Agrónomos.

² Palomo González, L.F. Valorización de productos de la conversión termoquímica de biomasa lignocelulósica residual: biochar como aditivo agrícola. Tesis para obtener el Grado de Maestro en Ciencias en Bioprocesos. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 2020.

³ OLMO PRIETO, Manuel. Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. 2016.

⁴ N. Afanasjeva et al., J. Sci. Technol. Appl., 5 (2018) 4 - 22 <https://doi.org/10.34294/j.jsta.18.5.31>

¿Qué es la pirólisis? ¿Qué es el biochar?

Tipo de pirólisis	Temperatura (°C)	Velocidad de calentamiento (°C/min)	Tiempo de residencia (s)	Rendimiento medio de los productos		
				Biochar (%)	Bio-oil (%)	Syngas
Lenta	300-800	0,1-2	Largo (1800-2400)	>35	>30	>40
Inter-media	300-500	300	Moderado (>5)	>25	>75	>20
Rápida	400-950	1000	Corto (0,03-1,5)	>25	>70	>16

Tabla 1. Tipos de pirólisis y principales características.

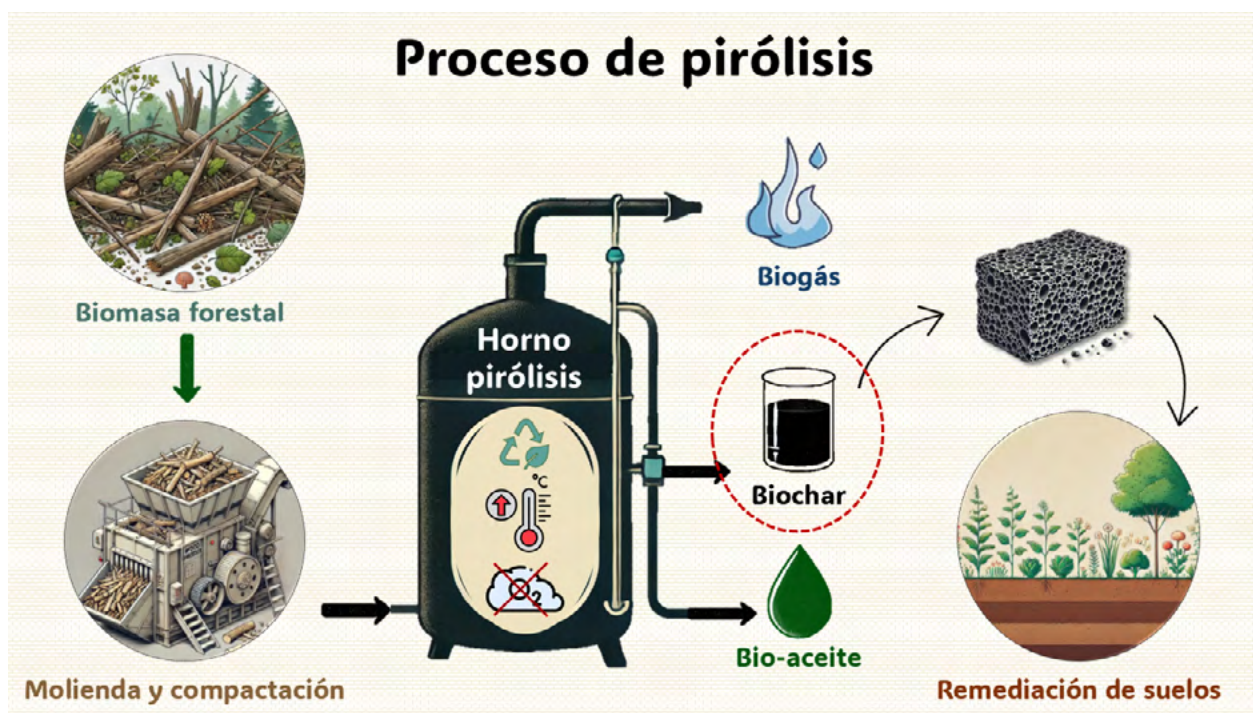


Figura 2. Proceso de pirólisis.

¿Qué es la pirólisis? ¿Qué es el biochar?

El preprocesamiento de biomasa mejora su calidad y eficiencia energética. Existen distintos tipos de reactores para producir biochar: los de lecho fijo son económicos, pero requieren tiempos de residencia largos, mientras que los de lecho fluidizado y otros diseños avanzados como los ablativos o de cono rotatorio necesitan tiempos de residencia más cortos y producen más líquidos, aunque requieren mayor inversión. Además, el biochar puede mejorarse después del proceso para hacerlo más útil, por ejemplo, aumentando su área superficial o añadiendo compuestos para aplicaciones especiales.⁵

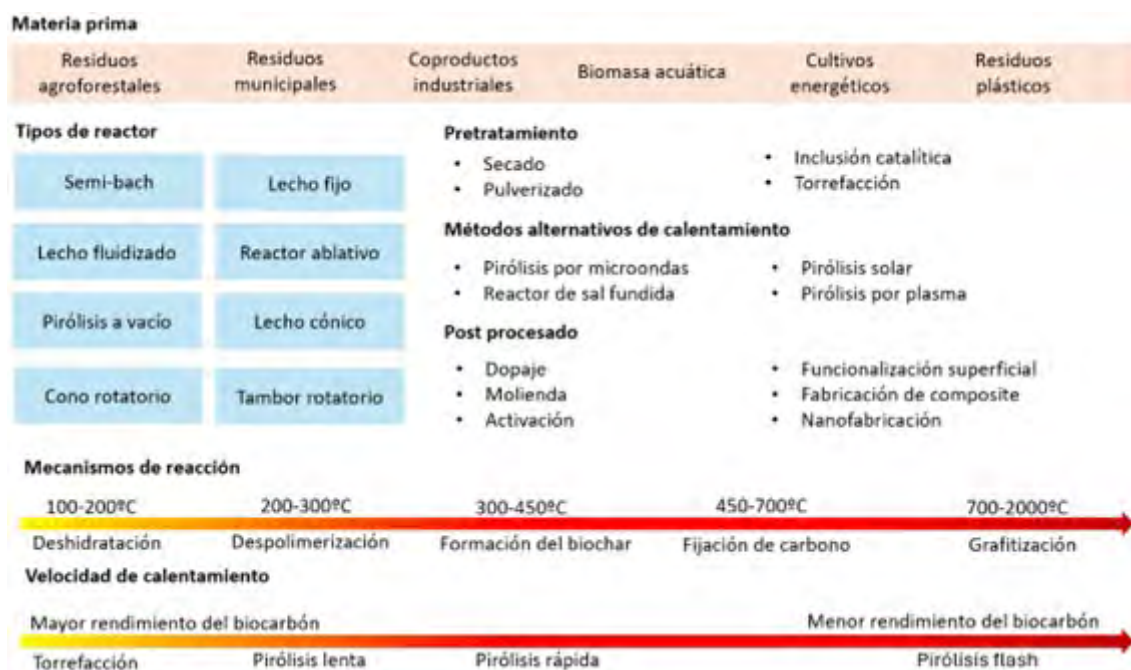


Figura 3. Resumen de las etapas de proceso, tipo de reactores y mecanismos de descomposición de la biomasa para la obtención de biochar.

⁵ Amar K. Mohanty, Singaravelu Vivekanandhan, Oisik Das, Lina M. Romero Millán, Naomi B. Klinghoffer, Ange Nzihou and Manjusri Misra. Biocarbon materials. Nature reviews methods primers <https://doi.org/10.1038/s43586-024-00297-4>

¿Qué es la pirólisis? ¿Qué es el biochar?

Para producir char se puede utilizar como materia prima cualquier residuo que tenga materia orgánica (residuos agroforestales, residuos municipales, coproductos industriales, residuos plásticos...). Sin embargo, de acuerdo con la definición especificada por la Iniciativa Internacional del Biochar (IBI), el biocarbón o biochar es un producto de carbonización de grano fino, caracterizado por un alto contenido de carbono orgánico y baja susceptibilidad a la degradación, que se obtiene a través de la pirólisis de biomasa y residuos biodegradables⁶.

La selección de la biomasa es uno de los factores determinantes en los rendimientos de los productos. Dependiendo que producto se desee obtener habrá que seleccionar una biomasa u otra. En la Figura 4 se muestran los diferentes rendimientos en función de la biomasa procesada⁷.

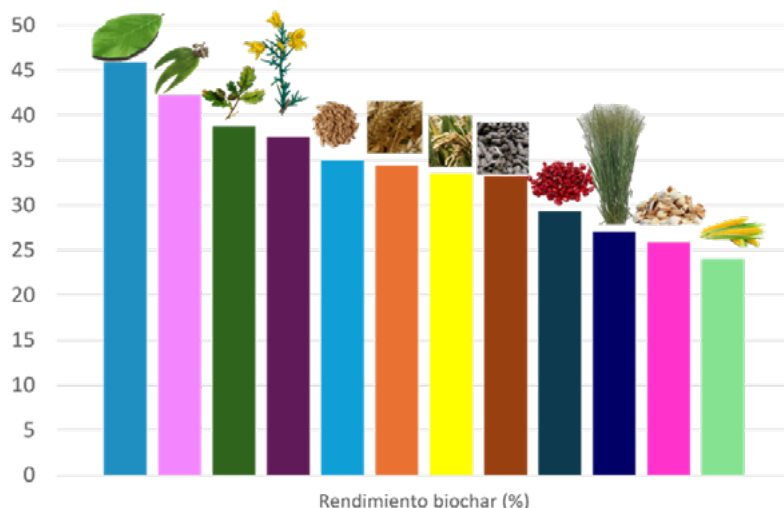


Figura 4. Rendimientos de los diferentes productos en función de la biomasa pirolizada.

⁶ IBI Biochar Standards-Standardized Product Definition and Product testing Guidelines for Biochar That is Used un Soil (<https://biochar-international.org/biochar-standards/>)

⁷ Anil Kumar Varma, Ravi Shankar, and Prasenjit Mondal. A Review on Pyrolysis of Biomass and the Impacts of Operating Conditions on Product Yield, Quality, and Upgradation. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1307-3_10

¿Qué es la pirólisis? ¿Qué es el biochar?

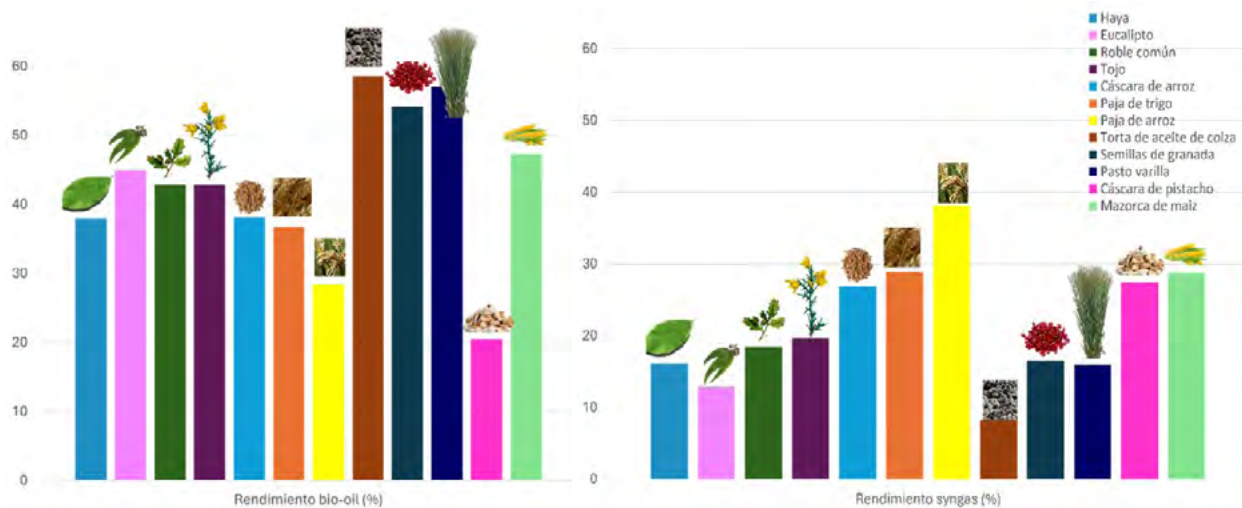


Figura 4. Rendimientos de los diferentes productos en función de la biomasa pirolizada.

El biochar se diferencia del carbón vegetal (*charcoal*, en inglés) en que su finalidad es aplicarlo al suelo para la mejora de sus propiedades y el secuestro de C, mientras que el carbón vegetal se utiliza para ser quemado y obtener energía^{2,8}.

El biochar obtenido tras pirolizar biomasa forestal posee una estructura de carbono más resistente a la descomposición química y biológica, por lo que, al ser incorporado al suelo, este carbono no es emitido a la atmósfera como ocurre con la descomposición de materia orgánica sin pirolizar. Las características del biochar le confieren la capacidad potencial de mejorar las propiedades físico-químicas del suelo y aumentar la productividad de los cultivos, contribuyendo además al secuestro de C, lo que convierte al biochar en una herramienta para luchar contra el cambio climático².

Beneficios de usar biochar como remediación de suelos

El biochar contiene altos niveles de nitrógeno, fósforo, calcio y potasio, por lo que puede nutrir directamente el suelo o alimentar microorganismos. Su aplicación mejora la porosidad, facilitando el crecimiento microbiano, incrementa el aire, la retención de agua/humedad (Busscher et al., 2008), prolonga la permanencia de nutrientes (Major et al., 2010, en García et al., 2014 y facilita el atrape de contaminantes. Esto mejora la actividad microbiana y el desarrollo de plantas. Entre los beneficios del biochar en el suelo destacan^{9,10,11,12}:

⁸ Lehmann, J., Joseph, S. 2009. "Biochar for environmental management: An introduction". Chapter 1. Biochar: Environmental Management Science and Technology. Ed. J. Lehmann, S. Joseph. Earthscan (London).

⁹ Del Amo Mateos, Esther. 2018. Producción de biochar a partir de material bioestabilizado. Universidad de Valladolid.

¹⁰ DuoWang , Peikun Jiang , Haibo Zhang et Wenqiao Yuand. Biochar production and applications in agro and forestry systems: A review. Science of the Total Environment 723 (2020) 137775

¹¹ Nadarajah K. et al. Biochar from waste biomass, its fundamentals. Engineering aspects, and potential applications: an overview. Water Science & Technology Vol 89 No 5, 1211.

¹² DuoWang , Peikun Jiang , Haibo Zhang et Wenqiao Yuand. Biochar production and applications in agro and forestry systems: A review. Science of the Total Environment 723 (2020) 137775

Beneficios de usar biochar como remediación de suelos

01

Modera la acidez del suelo

Su naturaleza alcalina eleva el pH en suelos ácidos, favoreciendo la actividad biológica y disponibilidad de nutrientes, lo cual mejora la calidad del suelo y la diversidad de cultivos.

02

Mejora su capacidad de intercambio catiónico (CIC)

El biochar tiene alta CIC y puede liberar e intercambiar cationes esenciales como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ , mejorando la fertilidad del suelo.^[90]

03

Estimula la actividad de los microorganismos del suelo

Su estructura porosa ofrece hábitats ideales para microorganismos. Favorece la descomposición de materia orgánica y procesos vitales como la fijación de nitrógeno y la nitrificación.

04

Aumenta la retención del agua

Gracias a su porosidad, retiene agua y nutrientes como nitratos y fosfatos, útil en suelos degradados o arenosos con baja retención. Inicialmente es hidrofóbico pero se vuelve hidrofílico al oxidarse en el suelo, mejorando su capacidad para retener agua y nutrientes.^[91]

05

Mejora la estructura del suelo

Altera la densidad y porosidad, mejorando la aireación y estabilidad de los agregados del suelo, haciéndolos más resistentes a la erosión por agua y viento.^[92]

06

Reduce la contaminación por metales pesados del suelo

Interactúa con metales mediante enlaces químicos y físicos, reteniéndolos y reduciendo su movilidad y toxicidad. Los grupos funcionales del biochar forman complejos estables con estos metales, impidiendo su absorción por las plantas o filtración al agua subterránea.

Beneficios de usar biochar como remediación de suelos

En la Figura 5 se ilustran los beneficios de la aplicación de biochar en suelos.

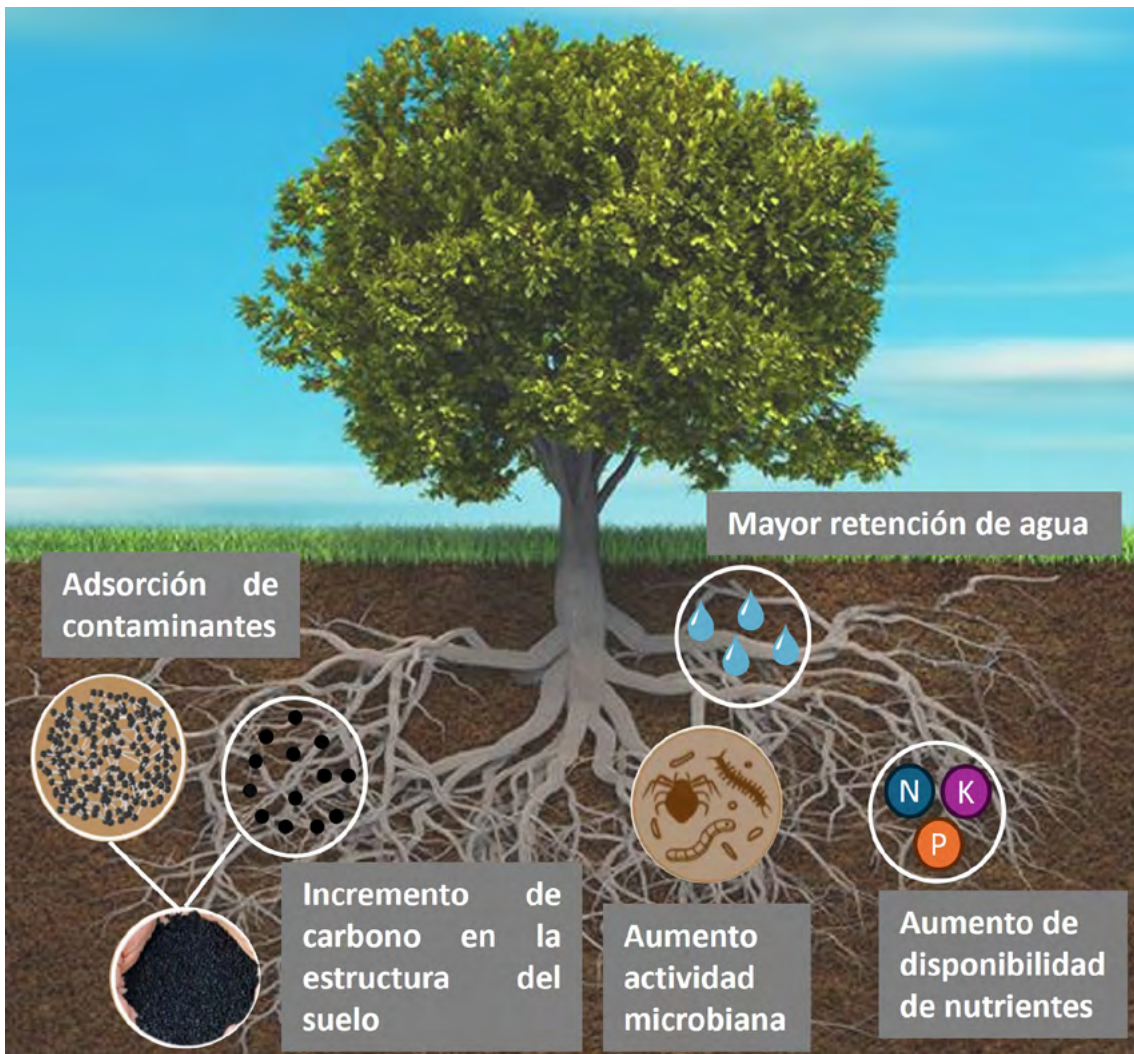


Figura 5. Beneficios de usar el biochar en suelos.

Caso práctico

CONTEXTUALIZACIÓN

El proyecto FORTEXVAL se desarrolla en la Mancomunidad del Saja (MRS) situada en el valle del Saja donde se ha extraído la biomasa para producir biochar. En dicho valle predominan los suelos Cambisoles (49%), suelos jóvenes de origen mineral. Los dístricos son ácidos y pobres en nutrientes, ubicados en laderas; los eútricos, fértiles y aptos para cultivos, se encuentran en zonas llanas como Mazcuerras. También hay Fluvisoles, suelos fértiles formados por depósitos fluviales, presentes en zonas como Terán y Uciada. Los Leptosoles son pedregosos y poco profundos, típicos de áreas montañosas como la Sierra del Escudo, usados para pastos y bosques. Por último, los Umbrisoles son oscuros y húmedos, adecuados para pastoreo, localizados en la cuenca del río Bayones en Riente. En la Figura 6 se muestran los tipos de suelos en la Mancomunidad del Saja.

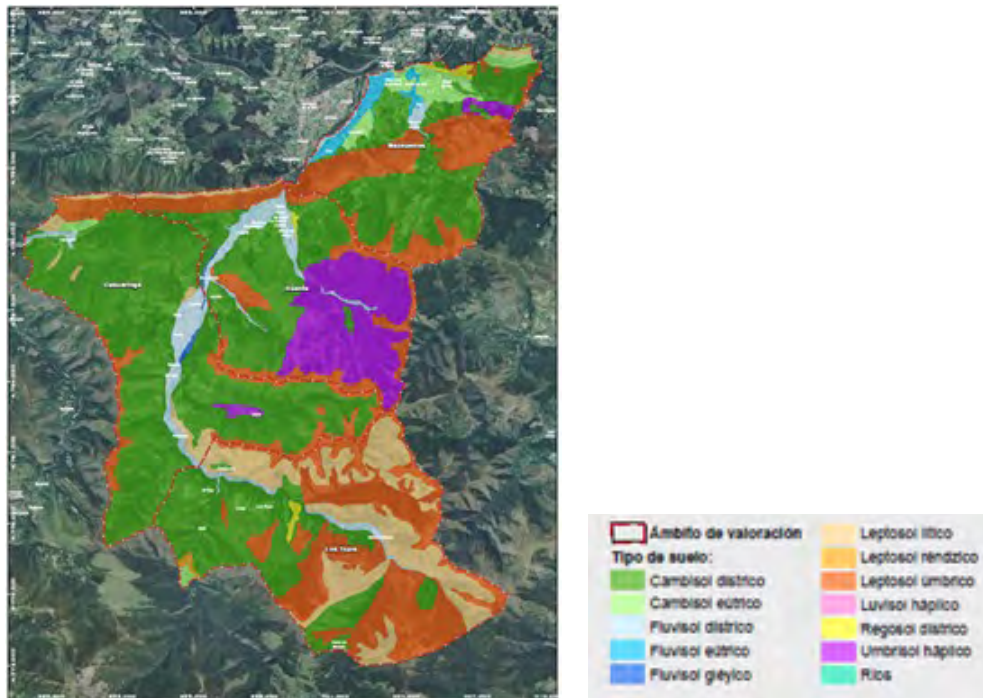


Figura 6 Tipos de suelos en la Mancomunidad del Saja.

Caso práctico

OBJETIVOS

- Optimización de la obtención de biochar minimizando el coste energético y la generación de subproductos no deseados.
- Estudio de la selectividad del biochar utilizado como remediación del suelo.
- Estudio de los beneficios del biochar en los suelos, prestando especial interés en la capacidad de retención de agua.

SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Para optimizar el proceso de pirólisis es conveniente hacer una adecuada selección de la biomasa de partida.

La composición general (celulosa, hemicelulosa y lignina) de los materiales de biomasa lignocelulósica varía de una biomasa a otra, lo que afecta al rendimiento del proceso de pirólisis y determina las características de los productos formados. Por ejemplo, la celulosa y la hemicelulosa son las principales responsables de la formación de bioaceite, mientras que la **lignina es la principal responsable de la formación de biochar**. Las composiciones más altas de lignina en la biomasa dan lugar a bioaceites más viscosos con menor contenido de humedad.¹³

La celulosa, la hemicelulosa y la lignina son los componentes más importantes de la lignocelulosa, con pequeñas cantidades de materiales inorgánicos y extractivos vegetales.¹⁴

A continuación, se muestra un diagrama con el contenido de lignina, hemicelulosa, celulosa y extractivos de las especies coníferas y las especies frondosas.¹⁵

¹³ Sohi, Saran & Lopez-Capel, Elisa & Krull, Evelyn & Bol, Roland. (2009). Biochar, Climate Change and Soil: A Review to Guide Future Research. CSIRO Land and Water Science Report. 5.

¹⁴ Amenaghawon, A.N., Anyalewechi, C.L., Okieimen, C.O. et al. Biomass pyrolysis technologies for value-added products: a state-of-the-art review. Environ Dev Sustain 23, 14324-14378 (2021).

¹⁵ Quesada M. Valorización de serrín mediante experimentos de pirólisis convencional.

Caso práctico

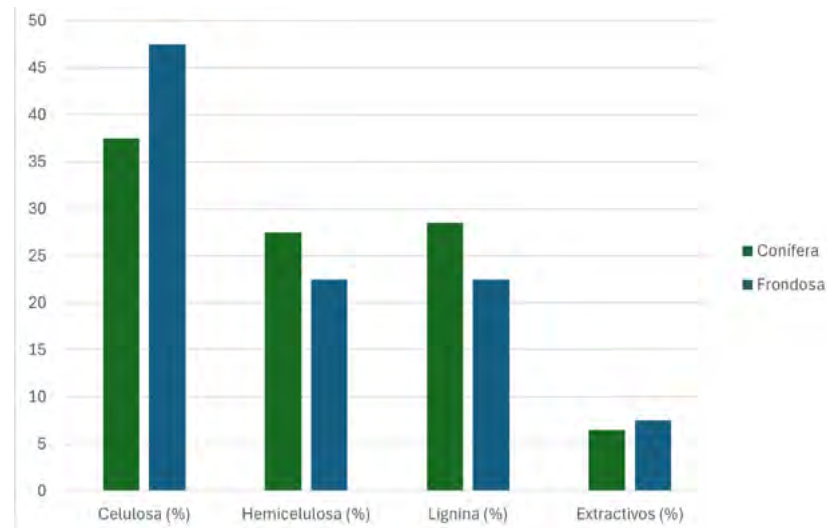


Figura 7 Contenido de lignina, hemicelulosa, celulosa y extractivos de las especies coníferas y las especies frondosas.

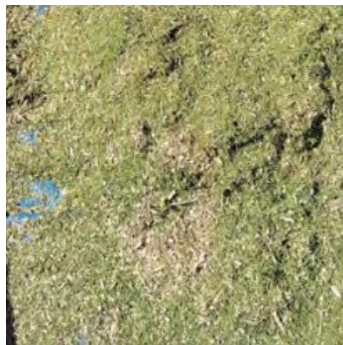


Figura 8 Biomasa de Pinus Radiata.

Caso práctico

SELECCIÓN DE ESPECIES DENTRO DEL PROYECTO FORTEXVAL PROCEDENTES DE LA MANCOMUNIDAD RESERVA DE SAJA

Selección previa de área de actuación teniendo en cuenta factores excluyentes y ponderados.



Figura 9 Factores excluyentes y ponderados elegidos para la selección de especies dentro de la MRS.

Caso práctico

Tras el análisis, se obtuvieron tres tipos de zonas:

ZONAS DE APTITUD MEDIA

Son favorables, pero presentan algunos condicionantes que podrían afectar el medio ambiente, la población o incrementar los costes y la complejidad de los trabajos.

ZONAS DE ALTA APTITUD

Son las más favorables para la explotación de biomasa, ya que las condiciones ambientales y sociales permiten minimizar las afecciones al medio natural y a la población.

ZONAS DE BAJA APTITUD

Áreas menos adecuadas debido a la presencia de factores desfavorables para el desarrollo de las actividades propuestas.

Caso práctico

Finalmente, las parcelas seleccionadas para las actividades de extracción de biomasa, fueron:

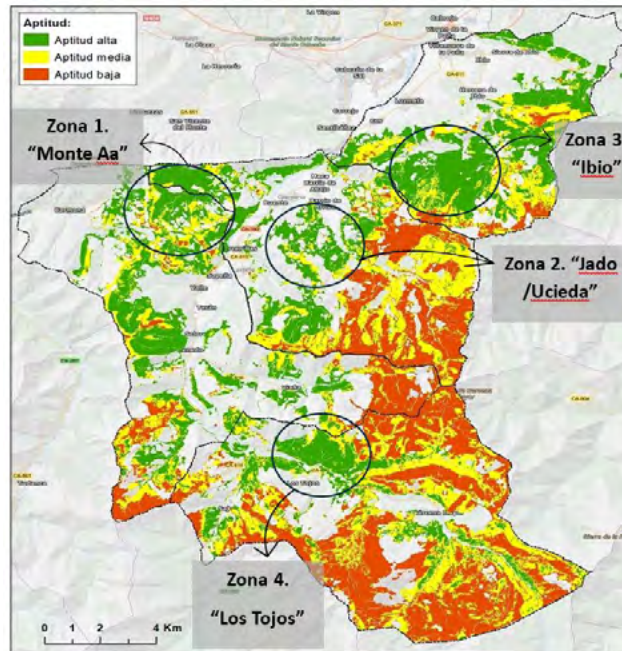


Figura 10 Mapa de la MRS con las zonas seleccionadas para las actividades de extracción de recursos de biomasa.

Teniendo en cuenta los criterios de selección de especies: Cantidad material, contenido de lignina, facilidad para proceso de peletizado, se escogieron las siguientes especies para su valorización en biochar mediante el proceso de pirólisis:

- Tojo "Ulex europaeus"
- Brezo "Erica spp."
- Roble común "Quercus robur"
- Pino insigne "Pinus radiata"
- Eucalipto "Eucalyptus globulus"

PROCESO DE PIRÓLISIS

Selección de variables

Tamaño y forma de la biomasa: La biomasa seleccionada será pirolizada en forma de pellets, con el objetivo de reducir las etapas de pretratamiento y optimizar el proceso.

Reactor: Se ha elegido un reactor de lecho fijo porque es más económico y se consiguen altos rendimientos de biochar.

Temperatura: Se trabajará en un rango de temperaturas comprendidas entre 400°C y 600°C, ya que a partir de 600°C el rendimiento de biochar desciende considerablemente. Se descarta trabajar a temperaturas inferiores de 400°C porque la cantidad de poros formados durante el proceso de pirólisis disminuye con la disminución de la temperatura de pirólisis y para la aplicación de retención de agua en suelos es necesario que el biochar sea muy poroso y tenga una elevada área superficial.

Atmósfera, tiempo de residencia y velocidad de calentamiento: El resto de los parámetros como el caudal de la atmósfera inerte, en este caso N₂, el tiempo de residencia o la velocidad de calentamiento, será constante en todos los experimentos.

Caso práctico

Productos obtenidos

Del proceso de pirólisis se obtienen tres productos: el biochar, el bio-oil y el syngas, los cuales tienen el aspecto que se muestra en la Figura 11.



Figura 11 Productos obtenidos después de pirolizar la biomasa.

Caso práctico

El **BIOCHAR** es un sólido rico en carbono, compuesto por materiales no combustibles, que no se transforman o provienen de una condensación molecular con alto contenido de carbón.

El **BIO-OIL** es el producto líquido formado por hidrocarburos de cadenas largas, alquitranes, aceites, fenoles y ceras que se han producido a través de reacciones de craqueo y condensación a altas temperaturas. Se diferencian principalmente dos fases, una oleosa y otra acuosa.

El **SYNGAS** es el producto gaseoso compuesto por una mezcla de gases que son principalmente el CO, CO₂, H₂ y CH₄.¹⁶

¹⁶ Palomo González, L.F. Valorización de productos de la conversión termoquímica de biomasa lignocelulósica residual: biochar como aditivo agrícola. Tesis para obtener el Grado de Maestro en Ciencias en Bioprocesos. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 2020.

Recomendaciones

Recircular el syngas en el proceso y utilizarlo como biocombustible. Para optimizar el proceso y que este sea más eficiente y más sostenible, es conveniente recircular el syngas para utilizarlo como biocombustible en el propio proceso. De esta forma se reduce en costes energéticos y en emisiones contaminantes.

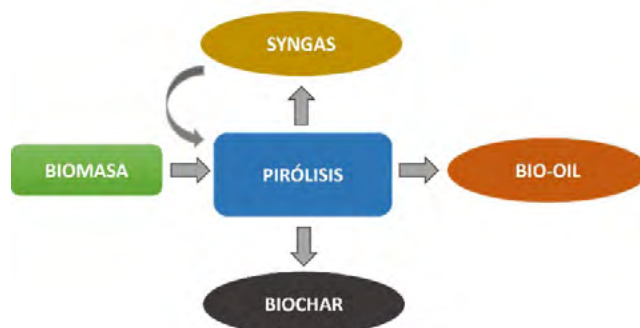


Figura 12 Esquema de recirculación de pirólisis.

Reducir el pretratamiento de la biomasa y el postratamiento del biochar. Reducir procesos en las etapas de pretratamiento y postratamiento, repercutirá en la reducción de costes económicos y ambientales.

Correcta selección de la biomasa (especies con mayor contenido de lignina). Como se ha explicado en el caso de estudio, la correcta selección de la biomasa es imprescindible para obtener un biochar de alta calidad. Por lo general, cuanto mayor lignina tiene la biomasa, mayor será la cantidad de biochar obtenido.

Producir biochar de forma local. Si el biochar es producido y aplicado en la misma zona de donde proceden los recursos forestales, se conseguirá ahorrar en costes y emisiones asociados al transporte optimizando el proceso.

Elección del tipo de suelo de aplicación del biochar. Es importante en qué tipo de suelos es adecuado la utilización del biochar, ya que habrá casos donde el biochar no tenga repercusión y sea innecesario. Si ponemos de ejemplo el Proyecto FORTEXVAL donde el área de aplicación se encuentra localizado en el valle del Saja, el lugar más adecuado donde aplicar el biochar son en las zonas de praderas de suelos de tipo cambisol dístico. La aplicación aquí de biochar ayudará a aumentar los nutrientes en los suelos además de otros beneficios comentados anteriormente.

Referencias

- [1] CUETO GARCÍA, María Jesús. Potencial de producción de biochar en España a partir de residuos de la industria papelera, de lodos de EDAR, de residuos sólidos urbanos y de residuos ganaderos: Estudio de la fijación de carbono. 2016. Tesis Doctoral. Agrónomos.
- [2] Palomo González, L.F. Valorización de productos de la conversión termoquímica de biomasa lignocelulósica residual: biochar como aditivo agrícola. Tesis para obtener el Grado de Maestro en Ciencias en Bioprocesos. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 2020.
- [3] OLMO PRIETO, Manuel. Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. 2016.
- [4] N. Afanasjeva et al., Biomasa lignocelulósica. Parte II: Tendencias en la pirólisis de biomasa. J. Sci. Technol. Appl., 5 (2018) 4 - 22 <https://doi.org/10.34294/jjsta.18.5.31> | ISSN 0719-8647 | www.jsta.cl | 12
- [5] Amar K. Mohanty, Singaravelu Vivekanandhan, Oisik Das, Lina M. Romero Millán, Naomi B. Klinghoffer, Ange Nzihou and Manjusri Misra. Biocarbon materials. Nature reviews methods primers <https://doi.org/10.1038/s43586-024-00297-4>
- [6] IBI Biochar Standards-Standardized Product Definition and Product testing Guidelines for Biochar That is Used un Soil (<https://biochar-international.org/biochar-standards/>).
- [6] Lehmann, J., Joseph, S. 2009. "Biochar for environmental management: An introduction". Chapter 1. Biochar: Environmental Management Science and Technology. Ed. J. Lehmann, S. Joseph. Earthscan (London).
- [7] Anil Kumar Varma, Ravi Shankar, and Prasenjit Mondal. A Review on Pyrolysis of Biomass and the Impacts of Operating Conditions on Product Yield, Quality, and Upgradation. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1307-3_10
- [8] Del Amo Mateos, Esther. 2018. Producción de biochar a partir de material bioestabilizado. Universidad de Valladolid.

Referencias

- [9] DuoWang , Peikun Jiang , Haibo Zhang et Wenqiao Yuand. Biochar production and applications in agro and forestry systems: A review. *Science of the Total Environment* 723 (2020) 137775
- [10] Nadarajah K. et al. Biochar from waste biomass, its fundamentals. Engineering aspects, and potential applications: an overview. *Water Science & Technology* Vol 89 No 5, 1211.
- [10] Sohi, Saran & Lopez-Capel, Elisa & Krull, Evelyn & Bol, Roland. (2009). Biochar, Climate Change and Soil: A Review to Guide Future Research. CSIRO Land and Water Science Report. 5.
- [12] Amenaghawon, A.N., Anyalewechi, C.L., Okieimen, C.O. et al. Biomass pyrolysis technologies for value-added products: a state-of-the-art review. *Environ Dev Sustain* 23, 14324-14378 (2021).
- [13] Quesada M. Valorización de serrín mediante experimentos de pirólisis convencional.

Para más info:

Centro Tecnológico CTC



Parque Científico y Tecnológico de Cantabria (PCTCAN)
c/ Isabel Torres nº 1
39011 Santander (CANTABRIA). Spain



942 76 69 76



info@centrotecnologicoctc.com