

MEMORIA DESCRIPTIVA

**Subvenciones para la realización de proyectos de I+D en
colaboración efectiva entre centros tecnológicos y empresas
de Castilla y León cofinanciadas con FEDER**

***Biotecnología avanzada integrada para el
enriquecimiento de biochar con microorganismos y
biomateriales para la optimización de los suelos
agrícolas***

MICROCHAR



NÚMERO DE EXPEDIENTE: CCTT6/23/ I

1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA

1.1. Objetivos generales del proyecto

Reutilizar los residuos agroalimentarios para producir biochar, un material rico en carbono con un alto potencial agronómico, que además puede ser mejorado al combinarse con nutrientes, bioestimulantes o microorganismos para crear sinergias, con el fin de aumentar la productividad de los cultivos, reducir la necesidad de suplementación de nutrientes, y contribuir a la sostenibilidad y salud del medio ambiente. Este proyecto incluye la producción de microorganismos específicos que, al interactuar con el biochar, incrementen la fertilidad del suelo y su capacidad para retener agua y nutrientes, promoviendo prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles.

Esto se logrará mediante los siguientes objetivos generales:

1. Generación de nuevos productos basados en una matriz de carbono: transformar residuos ricos en carbono en Biochar, para su uso como productos fertilizantes y/o enmienda agrícola, promoviendo una producción más eficiente y sostenible.
2. Mapa de producción de residuos: desarrollar un mapa regional de la producción de residuos ricos en carbono para identificar su potencial de transformación en productos fertilizantes y enmiendas de alto valor agronómico.
3. Evaluación y escalado del proceso de producción de biochar: implementar y optimizar un proceso pirolítico eficiente y escalable para la transformación de los principales residuos ricos en carbono en Biochar.
4. Selección y producción de microorganismos beneficiosos: hongos micorrízicos y bacterias promotoras de crecimiento, entre otros, que puedan ser aplicados en el biochar para su mejora.
5. Enriquecimiento del biochar: mejorar el biochar mediante técnicas que incorporen productos fertilizantes, bioestimulantes y microorganismos, optimizando su uso como fertilizantes y enmiendas de alto valor.
6. Ensayos agronómicos en condiciones controladas: evaluar el manejo y eficacia del biochar y demás productos seleccionados como abonado de fondo en diversos cultivos agrícolas (cereales, forrajes, oleaginosas y cultivos permanentes) bajo condiciones controladas dentro de cámara climática o invernadero con cultivos en maceta.
7. Modelo sostenible de economía circular: contribuir al desarrollo de un modelo de economía circular alrededor de los residuos ricos en carbono, promoviendo la sostenibilidad y la innovación en la agricultura.

Como se especificó, el proyecto se centra en la reutilización de residuos agroalimentarios para la producción de biochar, material rico en carbono, susceptible de ser enriquecido, para ser aplicado al suelo agrícola, contribuyendo así a una producción de alimentos más eficiente y al mismo tiempo, al cuidado del medio ambiente. Si bien existen numerosos estudios que han validado los beneficios que tiene la aplicación de biochar a los suelos para mejorar diversas propiedades agronómicas, hoy en día queda mucho por hacer para escalar estos resultados y llevarlos a su aplicación a campo. Ello abre la posibilidad de innovar y formular nuevos productos basados en biochar, que aditivados con productos fertilizantes conocidos mejoren el aprovechamiento de estos, así como también mejorar la durabilidad y eficacia en campo de los productos de origen biológico y microbiológico, que cuentan con un gran potencial de acción sobre el cultivo, pero baja resistencia en el medio.

1.2. Objetivos específicos del proyecto.

Con la consecución de los objetivos específicos que se detallan a continuación se establecerá una hoja de ruta específica para la optimización y evaluación del uso de biochar, donde se emplea la biotecnología como una herramienta potencial de desarrollo de estos nuevos productos. Implementar estos objetivos de manera rigurosa permitirá una comprensión integral del impacto que esta innovación tiene en la agricultura y su potencial para mejorar la sostenibilidad y productividad agrícola.

- a) Identificar y recopilar datos sobre la generación de residuos ricos en carbono en diferentes regiones agrícolas de la comunidad
- b) Crear un mapa interactivo que visualice la producción y disponibilidad de residuos agrícolas y agroindustriales ricos en carbono en Castilla y León
- c) Evaluar el potencial de estos residuos agrícolas y agroindustriales para ser reutilizados en la producción de biochar y otros productos fertilizantes, considerando su composición y volumen
- d) Implementar procesos biotecnológicos para convertir residuos ricos en carbono en biochar y nuevos productos fertilizantes de alto valor
- e) Establecer y probar un proceso de producción de biochar a pequeña escala para evaluar su eficiencia y viabilidad
- f) Ajustar parámetros operativos de la pirólisis, como la temperatura, el tiempo de residencia y la tasa de calentamiento, entre otros, para optimizar la calidad del biochar
- g) Seleccionar microorganismos que puedan resultar de interés para la mejora del biochar, incluyendo tanto hongos micorrícicos, como bacterias promotoras del crecimiento vegetal, microorganismos solubilizadores de nutrientes y fijadores de nitrógeno
- h) Establecer protocolos de cultivo para los organismos seleccionados y estudiar la compatibilidad entre ellos
- i) Definir diferentes formulaciones con asociaciones de microorganismos que puedan incorporarse al biochar
- j) Seleccionar materiales fertilizantes, tanto minerales como orgánicos, que puedan incorporarse al biochar para mejorar sus propiedades agronómicas
- k) Desarrollar y probar técnicas para incorporar al biochar biomateriales con características bioestimulantes, asegurando una distribución homogénea y una liberación controlada
- l) Evaluar las propiedades químicas, físicas y biológicas del biochar una vez enriquecidas, bajo condiciones controladas de laboratorio
- m) Establecer ensayos controlados en cámara climática o invernadero para evaluar el manejo y eficacia del biochar enriquecido frente a otros fertilizantes seleccionados en una variedad de cultivos agrícolas como cereales, forrajes y/o oleaginosas, así como en diferentes tipos de suelo
- n) Comparar los resultados obtenidos con los de tratamientos tradicionales para evaluar la eficacia del biochar enriquecido como enmienda
- o) Difundir los beneficios del modelo de economía circular en la comunidad agrícola y agroindustrial, promoviendo prácticas sostenibles e innovadoras
- p) Establecer colaboraciones con otras entidades y transferir tecnologías desarrolladas para apoyar la adopción del modelo circular

1.3. Necesidad que origina el proyecto y problemática que resuelve.

La agricultura moderna persigue un equilibrio entre la producción de alimentos de calidad y la preservación del medio ambiente. Esto se logra mediante prácticas agrícolas sostenibles que deben cumplir con dos requisitos fundamentales: la eficacia agronómica y la ausencia de efectos perjudiciales para la salud y el medio ambiente.

En este contexto, la región de Castilla y León, con su vasta extensión agrícola y forestal, se enfrenta a desafíos específicos. La implementación de nuevas técnicas y procesos de mejora es esencial para adaptarse a retos como el cambio climático y las exigencias de los consumidores. Una solución prometedora es el uso del biochar, que no solo mejora las características agronómicas de los suelos de cultivo, sino que también facilita la gestión de residuos agroindustriales.

Problemas con los residuos agroindustriales en la región: en Castilla y León se genera una gran cantidad de residuos orgánicos debido a su intensa actividad agroalimentaria. Según el INE, en España se generan más de 690 mil toneladas de residuos vegetales, con un 93% proveniente de la industria manufacturera. Aunque estos residuos son menos contaminantes y peligrosos que otros tipos, una gestión inadecuada puede causar problemas ambientales y sociales, como emisiones de CO₂, contaminación de las vías fluviales, malos olores y la proliferación de roedores e insectos. El biochar tiene un gran potencial para transformar estos residuos en un recurso valioso y reducir la contaminación ambiental.

Demanda de fertilizantes: La demanda de fertilizantes es otro aspecto crucial. En España, el consumo nacional alcanza cerca de 5 millones de toneladas anuales. La volatilidad del mercado ha provocado un incremento del 66% en los precios de los fertilizantes en los últimos años (Banco Mundial, 2022). Además, la pérdida de nutrientes por volatilización y lixiviación genera graves impactos ambientales. Es imperativo mejorar la eficiencia de la fertilización de los cultivos. Además, debido a los cambios en la proporción de poros y la permeabilidad del agua, el biochar mejora la fertilidad del suelo aumentando su capacidad para retener nutrientes y agua, reduciendo la necesidad de fertilizantes químicos y disminuyendo la contaminación ambiental. El uso del Biochar también disminuye la compactación y la resistencia a la tracción de los suelos, y esto mejora la labrabilidad, la emergencia de las plántulas y el crecimiento de las raíces. El biochar que se utilizará en este proyecto, con su capacidad para mejorar la retención de nutrientes y agua en el suelo, pueden ser una solución efectiva para este problema.

Adición de microorganismos: La adición de microorganismos a las matrices de carbono amplifica sus beneficios, abordando la necesidad de mejorar la fertilidad del suelo y gestionar de manera sostenible los residuos agroindustriales. Los microorganismos que se pueden añadir al biochar son aquellos que tienen la capacidad de establecer relaciones simbióticas o mutualistas con las raíces de las plantas, facilitando la absorción de nutrientes, la resistencia al estrés biótico y abiótico, y el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Entre estos microorganismos se encuentran: los hongos micorrícicos, que forman asociaciones simbióticas con más del 80% de las especies vegetales, mejorando la captación de fósforo, nitrógeno, potasio y otros elementos esenciales para el desarrollo de las plantas; las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés), que producen sustancias hormonales, enzimáticas o antibióticas que estimulan el desarrollo de las plantas y las protegen de patógenos; los organismos solubilizadores de nutrientes, que liberan formas asimilables de fósforo, potasio, calcio y otros minerales presentes en el suelo o en el biochar; y los fijadores de nitrógeno, que transforman el nitrógeno atmosférico en amonio, una forma de nitrógeno fácilmente asimilable para las plantas.

Por lo tanto, estos microorganismos pueden aumentar la productividad agrícola sin recurrir a fertilizantes químicos. Estos microorganismos son fundamentales en el ciclo de nutrientes y contribuyen a la salud del ecosistema. Las bacterias descomponedoras, como las especializadas en descomponer carbohidratos, proteínas o lípidos, utilizan enzimas para transformar la materia orgánica en moléculas más simples que son esenciales para el crecimiento de las plantas. Además, la adición de hongos y actinomicetos también es beneficiosa, ya que trabajan conjuntamente con las bacterias para descomponer la materia orgánica. La actividad de estos microorganismos en el biochar mejora la estructura del suelo, aumenta la porosidad y la cantidad de oxígeno, lo que estimula la actividad del microbiota y facilita la fijación de nitrógeno,

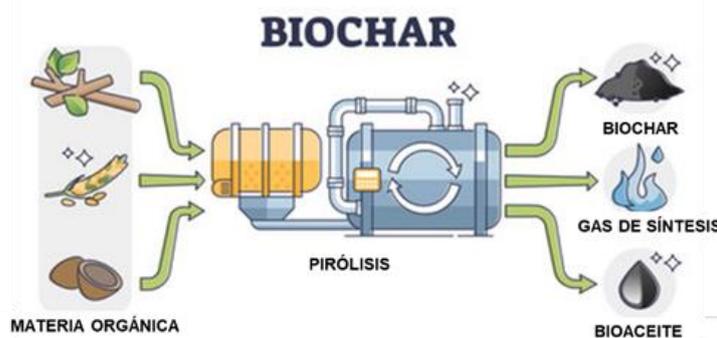
transformando la materia orgánica en minerales asimilables para las plantas. Estos microorganismos también estabilizan el carbono en el suelo, potenciando el biochar como sumidero de carbono y contribuyendo a la mitigación de gases de efecto invernadero. Implementar esta técnica en el proyecto permitirá evaluar su eficacia en el aumento de la fertilidad del suelo mediante mecanismos sostenibles y económicos.

Por otro lado, la introducción de trichodermas al biochar puede ofrecer múltiples beneficios para la agricultura sostenible. Los trichodermas son hongos beneficiosos que actúan como bioestimulantes, mejorando el crecimiento de las plantas y proporcionando fósforo, además de ayudar a las plantas a enfrentar el estrés biótico y abiótico. Por lo tanto, su adición al biochar puede resultar en una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes por parte de las plantas, una mejor retención de agua en el suelo y un aumento en la resistencia de las plantas a enfermedades causadas por hongos y bacterias. Además, los trichodermas pueden contribuir a la descomposición de materia orgánica, lo que resulta en una liberación más eficiente de nutrientes esenciales para las plantas.

Contribución del biochar a la reducción de gases de efecto invernadero: En 2020, los valores de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso aumentaron significativamente en comparación con las concentraciones preindustriales. El biochar emerge como una estrategia importante para reducir los gases de efecto invernadero, contribuyendo a los compromisos climáticos internacionales y nacionales, como el Acuerdo de París. Gracias a sus características fisicoquímicas, el biochar actúa como un sumidero de carbono, capturando y almacenando carbono atmosférico durante décadas o incluso siglos. Su uso puede ayudar a restaurar suelos degradados, como áreas afectadas por incendios forestales, aumentando la resiliencia del suelo frente a futuros eventos climáticos.

La adición de biochar al suelo es una opción viable para reducir la concentración de CO₂ atmosférico, favoreciendo la retención de carbono (C) en el suelo. El potencial del biochar como sumidero de carbono se debe a su naturaleza recalcitrante, lo que ralentiza la velocidad a la que se degrada en el suelo y por tanto la velocidad a la que el C se emite a la atmósfera. El tiempo de residencia media del carbono del biochar en los suelos es variable, pero según estimaciones alcanza los 1.000 años, pudiendo llegar a los 10.000 años.

A nivel terrestre son fijadas por la fotosíntesis 60 gigatoneladas (Gt= 10⁹ t) de C atmosférico cada año. Considerando que la pirólisis transforma el 50 % del carbono del material inicial en biochar y 50 % del carbono restante en bioaceites y syngas, que pueden usarse como sustitutos de combustibles fósiles para obtener energía (con una eficiencia media del 62%); de 1 Gt de C de la biomasa inicial se obtendría 0.5 Gt de C en forma de biochar (secuestrable) y se evitarían la emisión a la atmósfera de 0.3 Gt de C (0.5 Gt C x 0.62) procedentes de los combustibles fósiles. Si tan solo se emplea un 10% de la biomasa residuos disponible en España para producir biochar se podrían reducir en 4.8 Gt de C por año de las emisiones a la atmósfera y considerando que todo el sector agrícola emite aproximadamente 7.1 Gt al año, según la FAO, tan solo esto con el uso del biochar al suelo, reduciríamos un 68% de las emisiones de CO₂ procedente de todo el sector agrícola.



La producción de biochar a partir de residuos orgánicos ofrece una solución sostenible para su gestión, en lugar de enviarlos a vertederos o incinerarlos. Además, el biochar puede reducir las emisiones de otros gases de efecto invernadero del suelo, como el metano y el óxido nitroso, que son más potentes que el CO₂ en términos de efecto invernadero. Su uso también reduce la lixiviación de metales pesados. La producción y distribución del Biochar es mucho más sostenible que los fertilizantes químicos industriales actuales, pudiendo obtener la inscripción de "producto

fertilizante UE" y además ser catalogado como "producto elaborado con materias primas de origen orgánico", garantizando así su inocuidad para las personas y el medio ambiente.

Economía circular y sostenibilidad: La producción de biochar en Castilla y León ilustra un ejemplo destacado de economía circular, donde los residuos orgánicos de la industria agroalimentaria se transforman en un recurso valioso. Este proceso no solo reduce la cantidad de residuos destinados a vertederos, sino que también proporciona un material beneficioso para mejorar la fertilidad del suelo y la retención de agua en los cultivos. Al cerrar este ciclo de vida de los recursos, se minimiza el impacto ambiental de la agricultura y se promueve un uso más eficiente de los recursos disponibles en la región. Además, al integrar el biochar en prácticas agrícolas sostenibles, se fomenta un modelo de producción más resiliente y adaptable a los desafíos climáticos y económicos, contribuyendo así a la creación de una economía más circular y sostenible en Castilla y León.

La incorporación de biochar en el suelo a una tasa de 13.5 toneladas por hectárea (equivalente al 3% de la capa superior de 30 cm) crea una capacidad de almacenamiento de carbono que puede perdurar a lo largo de diez siglos. Esta práctica puede ser particularmente beneficiosa en Castilla y León, mejorando la salud del suelo, incrementando la productividad agrícola y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental de la región.

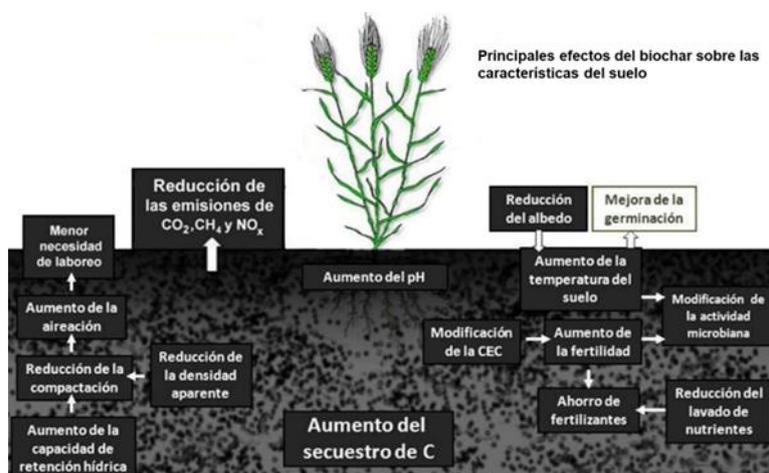
1.4. Retos tecnológicos asumidos con el nuevo proyecto.

La producción de residuos en España, para el año 2020, fue de 105,6 millones de toneladas, de los cuales 9.1 millones corresponden a los residuos animales y vegetales. Ocupando así, el tercer puesto de las actividades que más han generado residuos, con un 1,4% menos que en el año anterior. En 2020 se reciclaron 47,3 millones de toneladas de residuos, un 3,7% menos que en 2019. Mientras que para los residuos de animales y vegetales se ha observado un aumento en las tasas de reciclado de 11,6%. Por su parte, los Residuos de Madera disminuyeron la tasa de reciclado en un 70,0% respecto a 2019 (1). Y con eso, se hace urgente seguir reduciendo la producción de residuos en la industria agroalimentaria y, también es importante aumentar las tasas de reciclado de los residuos generados en este sector. El biochar es una alternativa interesante para el aumento de estas tasas y con la ventaja de generar un producto que mejora no solamente las características de los suelos, como también el medioambiente.

Tanto la variación de la materia prima como las condiciones operativas pueden influir en las características del biochar producido. Cuanto mayor es el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, mayor es la superficie específica, el volumen de poros y la porosidad del biochar, resultando en una mayor capacidad de retención de nutrientes en los suelos, y una menor producción de cenizas (2-3). El tamaño de la partícula de la biomasa está asociado a una mayor liberación de volátiles, mayor área superficial y volumen de poros (4). La temperatura de la pirólisis representa un importante papel en la producción del biochar. Suliman (5), ha observado cuando utilizó bambú como biomasa que cuanto mayor es la temperatura, mayor es la superficie específica y la porosidad. Se ha visto también que a altas temperaturas hay una reducción de los grupos funcionales alifáticos y que contienen oxígeno, y como consecuencia un aumento de los sitios activos aromáticos. Cuando se varía la velocidad de la pirólisis se observa que una mayor tasa de calentamiento resulta en una mayor y mejor superficie específica del biochar, y una menor tasa de calentamiento permite reducir el volumen de microporos y el volumen total de poros (6).

Numerosos estudios han evidenciado que la aplicación de biochar, conlleva una disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provenientes del suelo. Un ejemplo de esto se encuentra en la investigación realizada por Agegnehu et al. (7), quienes observaron que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el grupo de tratamiento con Biochar fueron significativamente inferiores en comparación con el grupo de control. De esta manera, el Biochar se posiciona como una posible solución para la reducción de las emisiones de GEI del suelo. Además, se ha señalado que el contenido de materia volátil en el biochar podría desempeñar un papel crucial en la explicación de las emisiones a corto plazo de CO₂ y N₂O en suelos tratados con biochar, como lo indicó Ameloot (8). Asimismo, Xie (9) encontró que la sustitución de la enmienda de paja por biochar no solo disminuye las emisiones de CH₄, sino que también incrementa el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo. Las reservas generales de

biomasa parecen ser suficientes para satisfacer la necesidad de secuestro y aún proporcionar otras sustituciones del uso de combustibles fósiles.



La aplicación de biochar puede aumentar el rendimiento de los cultivos en un 10 % en un agroecosistema (10), lo que puede atribuirse al aumento de la fertilidad del suelo, la eficiencia en el uso del agua y la reducción de la biodisponibilidad de los metales pesados. Major et al. (11) encontraron que el grupo de tratamiento que utilizó biochar a una dosis de 20 t/ha tuvo rendimientos de cultivos un 28%, 30% y hasta 140%

más altos que el grupo de control en un periodo de 2-4 años. Además, la aplicación de biochar no solo puede aumentar el rendimiento de los cultivos, sino también mejorar su calidad, especialmente en entornos de contaminación por metales pesados, salinización o suelos con sequía (12).

Si el 10% de la biomasa española se convirtiera en biochar, con un rendimiento del 50% y un 30% de energía procedente de volátiles, secuestrarían 4,8 GtC/año, aproximadamente. Un 20% más que el actual aumento anual de carbono atmosférico, de 4,1 GtC/año. La mezcla de biocarbón en el suelo a razón de 13,5 t/ha (3% de la capa superior de 30 cm) proporciona un espacio de almacenamiento que duraría al menos 1.000 años (13).

Para realizar una **conversión eficiente de residuos** ricos en carbono, como los agrícolas, forestales y agroindustriales, en enmiendas, es necesario desarrollar tecnologías avanzadas de conversión. La pirólisis, que implica la descomposición térmica de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, es una de las técnicas más prometedoras para producir biochar. Sin embargo, es crucial optimizar los parámetros del proceso, como la temperatura, el tiempo de residencia y la tasa de calentamiento, para maximizar la producción de biochar y minimizar la generación de subproductos no deseados. Además, se debe asegurar que el proceso sea adaptable a diferentes tipos de residuos para aumentar su viabilidad y aplicación a gran escala.

La calidad del biochar es esencial para su eficacia como enmienda agrícola. Esto requiere un control riguroso de las condiciones de producción para garantizar que el biochar tenga propiedades físicas y químicas consistentes, como una alta capacidad de retención de agua, porosidad adecuada y contenido de carbono fijo. También es importante que el biochar esté libre de contaminantes y tenga una composición química que sea beneficiosa para el suelo y las plantas.

Para que la tecnología sea adoptada ampliamente, debe ser escalable desde operaciones pequeñas hasta grandes plantas de producción. Esto requiere el diseño de sistemas modulares y flexibles que puedan adaptarse a diferentes volúmenes de producción y tipos de residuos. Además, es necesario desarrollar infraestructuras logísticas y de suministro eficientes para recolectar y transportar los residuos hasta las plantas de producción.

Desarrollar un mapa de producción de residuos ricos en carbono es una tarea compleja que involucra varios desafíos tecnológicos y metodológicos cruciales para su éxito.

El primer reto es la recolección de datos precisos y actualizados sobre la producción de residuos ricos en carbono a nivel regional. Esto requiere el establecimiento de una red de monitoreo robusta que pueda capturar información sobre los volúmenes y tipos de residuos generados en diferentes sectores, como el agrícola, forestal y agroindustrial.

Una vez recopilados los datos, el siguiente paso es implementarlos en sistemas de georreferenciación para crear mapas detallados. El uso de tecnologías como los Sistemas de

Información Geográfica (SIG) permite visualizar la distribución y cantidad de residuos en un área específica, proporcionando una herramienta valiosa para la toma de decisiones. Los mapas deben ser interactivos y actualizables, permitiendo a los usuarios ajustar parámetros y obtener información actualizada.

Los datos recopilados deben ser compatibles con otras bases de datos y sistemas de información agrícola para crear un ecosistema de datos integrado. Esto implica el uso de estándares de datos abiertos y formatos compatibles que permitan la transferencia y el intercambio de información sin problemas. Además, se debe considerar la creación de interfaces de programación de aplicaciones (API) que faciliten la integración con otras plataformas y herramientas de gestión agrícola. La interoperabilidad no solo mejora la eficiencia de los sistemas de gestión de residuos, sino que también permite una colaboración más estrecha entre diferentes actores del sector agrícola y ambiental.

Es importante asegurar que los datos sean accesibles y utilizables por los diferentes actores involucrados, desde agricultores y gestores de residuos hasta investigadores y formuladores de políticas. Esto implica publicar los datos en las páginas web de los equipos de trabajo, asegurando que las plataformas sean intuitivas y fáciles de usar, proporcionando herramientas de visualización y análisis que permitan a los usuarios extraer información relevante y aplicable a sus necesidades. Al hacer los datos disponibles en estas plataformas en línea, se facilitará la toma de decisiones informadas y la implementación de prácticas agrícolas y de gestión de residuos más sostenibles y eficientes. El **enriquecimiento del biochar** y otros materiales ricos en carbono seleccionados, comienza con la incorporación de nutrientes y microorganismos beneficiosos en la estructura porosa sin comprometer sus propiedades físicas y químicas. Para ello, es necesario desarrollar métodos avanzados de impregnación y adsorción que permitan una carga uniforme de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, así como de sustancias bioestimulantes y microorganismos promotores del crecimiento de las plantas. Algunos factores de importancia para producir la sinergia esperada son los siguientes:

- La estabilidad a lo largo del tiempo es crucial, lo que requiere la selección de materiales y técnicas que aseguren la liberación gradual y controlada de nutrientes y microorganismos, manteniendo la integridad estructural de la matriz de carbono.
- La distribución uniforme de nutrientes y microorganismos en las estructuras carbonosas, es esencial para asegurar su eficacia en el campo. Esto implica la implementación de técnicas de mezcla y homogenización que permitan una dispersión equitativa de los aditivos. La estabilidad de estos componentes debe ser evaluada a lo largo del tiempo para garantizar que permanezcan activos y disponibles para las plantas durante toda la temporada de cultivo.
- El enriquecimiento del biochar con nutrientes y microorganismos beneficiosos es un proceso complejo que requiere una cuidadosa consideración de la compatibilidad entre este y los materiales utilizados para su enriquecimiento. La compatibilidad afecta directamente la eficacia y estabilidad de la mezcla como enmienda agrícola, así como su impacto en el suelo y las plantas.
- El biochar debe tener una estructura porosa adecuada para adsorber y retener nutrientes y microorganismos, de tal forma que la porosidad y la superficie específica deben ser compatibles con las características de los materiales de enriquecimiento, permitiendo una absorción eficiente y una liberación controlada.
- El pH de la mezcla, que debe ser compatible para evitar reacciones adversas que puedan neutralizar la eficacia de los nutrientes o dañar los microorganismos. Es importante que el biochar mantenga una composición química que no interfiera con la disponibilidad de los nutrientes ni con la actividad biológica de los microorganismos.
- La capacidad de intercambio catiónico (CIC) del biochar debe ser adecuada para poder retener las moléculas de los nutrientes añadidos (NPK, entre otros) e interactuar con el suelo para su liberación y disponibilidad hacia las raíces de las plantas.
- La lixiviación de los nutrientes en el suelo debe ser minimizada con la aplicación del biochar, asegurando que permanezcan en la zona radicular de las plantas. La

modificación de la superficie del biochar con grupos funcionales específicos puede mejorar su capacidad para retener nutrientes.

- Los microorganismos beneficiosos tanto bacterias como hongos, deben ser capaces de sobrevivir y proliferar en la superficie de las matrices de carbono. Esto implica que el biochar, debe proporcionar un ambiente adecuado, incluyendo suficiente humedad, espacio poroso y acceso a nutrientes.
- La matriz de carbón y los microorganismos deben interactuar de manera sinérgica, donde la primera actúe como un hábitat protector para los microorganismos, y estos, a su vez, mejoren la disponibilidad de nutrientes para las plantas. La compatibilidad aquí también implica que el biochar no contenga compuestos tóxicos que puedan inhibir el crecimiento microbiano.

Los **ensayos agronómicos en cámara climática** permitirán evaluar de manera precisa el manejo y la eficacia del biochar con los nutrientes, bioestimulantes y microorganismos, en diversos cultivos agrícolas bajo condiciones controladas. Para llevar a cabo estos ensayos, es fundamental un diseño experimental sólido. Primero, se deben seleccionar una variedad de cultivos representativos, incluyendo cereales, forrajes y oleaginosas, los cuales serán cultivados en maceta, bajo condiciones controladas de temperatura, humedad y luz. Es esencial establecer diferentes tratamientos que incluyan todas las mezclas enriquecidas, por ejemplo: (a) biochar solo, (b) biochar más macro y micro nutrientes (fertilizante), (c) biochar más microalgas (bioestimulante) y (d) biochar más *Trichoderma* sp (microorganismo), además de un control sin biochar y un segundo control con sólo fertilizante mineral para poder comparar los resultados. Para obtener datos estadísticamente significativos, es necesario asegurar un número adecuado de réplicas para cada tratamiento, lo que generalmente implica múltiples plantas por tratamiento y varias unidades experimentales.

Las condiciones controladas en la cámara climática permiten gestionar de manera precisa factores ambientales como temperatura, humedad y luz para el control del fotoperíodo, garantizando que las variables sean constantes y replicables. Se deben utilizar sustratos homogéneos y contenedores uniformes para eliminar variaciones en las condiciones de crecimiento, asegurando que el sustrato esté libre de contaminantes y tenga una textura y composición adecuadas para el crecimiento de los cultivos seleccionados. Además, se debe implementar un régimen de riego controlado que simule las condiciones óptimas para cada cultivo, asegurando un riego uniforme y evitando el exceso de agua que pueda lixiviar los nutrientes.

A su vez los productos enriquecidos deben ser compatibles con una amplia gama de tipos de suelo, desde suelos arenosos hasta arcillosos. Esto requiere que la matriz de carbono mantenga su estructura y funcionalidad en diferentes condiciones edafoclimáticas, incluyendo variaciones en pH, humedad y temperatura, debe interactuar positivamente con la materia orgánica del suelo, mejorando su capacidad de retención de agua y nutrientes, y apoyando la actividad microbiana. La compatibilidad en este contexto implica que no deben descomponerse rápidamente, ni liberar compuestos que puedan ser perjudiciales para el suelo.

Para evaluar con precisión los efectos del biochar y demás productos en ambientes agrícolas, es fundamental diseñar y ejecutar ensayos robustos, que incluyan una variedad de cultivos y condiciones de suelo, utilizando diseños experimentales adecuados que permitan la comparación de resultados.

El monitoreo y recolección de datos son cruciales en estos ensayos. Es necesario monitorear regularmente el crecimiento y desarrollo de las plantas, midiendo parámetros como altura de planta, número de hojas, biomasa aérea y radicular, desarrollo de flores o frutos según corresponda a cada cultivo, entre otros. También se debe analizar periódicamente el sustrato para evaluar cambios en la química del suelo, como pH, contenido de nutrientes y materia orgánica, lo que ayuda a determinar cómo se comporta la disponibilidad de nutrientes y la estructura del suelo. En el caso del biochar enriquecido con microorganismos, se deben realizar análisis microbiológicos para evaluar la viabilidad y actividad de los microorganismos en el sustrato, incluyendo recuentos de colonias, análisis de actividad enzimática y evaluación de la biodiversidad microbiana. Evaluar la eficiencia del uso de agua y nutrientes por las plantas bajo los diversos tratamientos en comparación con los controles, lo que puede incluir medidas de contenido de humedad en el sustrato y análisis foliares de nutrientes.

Estos retos tecnológicos representan grandes oportunidades para la investigación y el desarrollo en el campo de la bioeconomía y la agricultura sostenible. El avance en técnicas de enriquecimiento de estructuras carbonosas, el diseño de ensayos agronómicos robustos, y el desarrollo de modelos de economía circular, que no solo mejorará los sistemas agrícolas y la gestión de residuos, sino que también contribuirá a la sostenibilidad ambiental y al bienestar económico de las comunidades agrícolas. La colaboración entre los distintos actores implicados es esencial para enfrentar estos desafíos y aprovechar las oportunidades para crear un sistema agrícola más resiliente y sostenible.

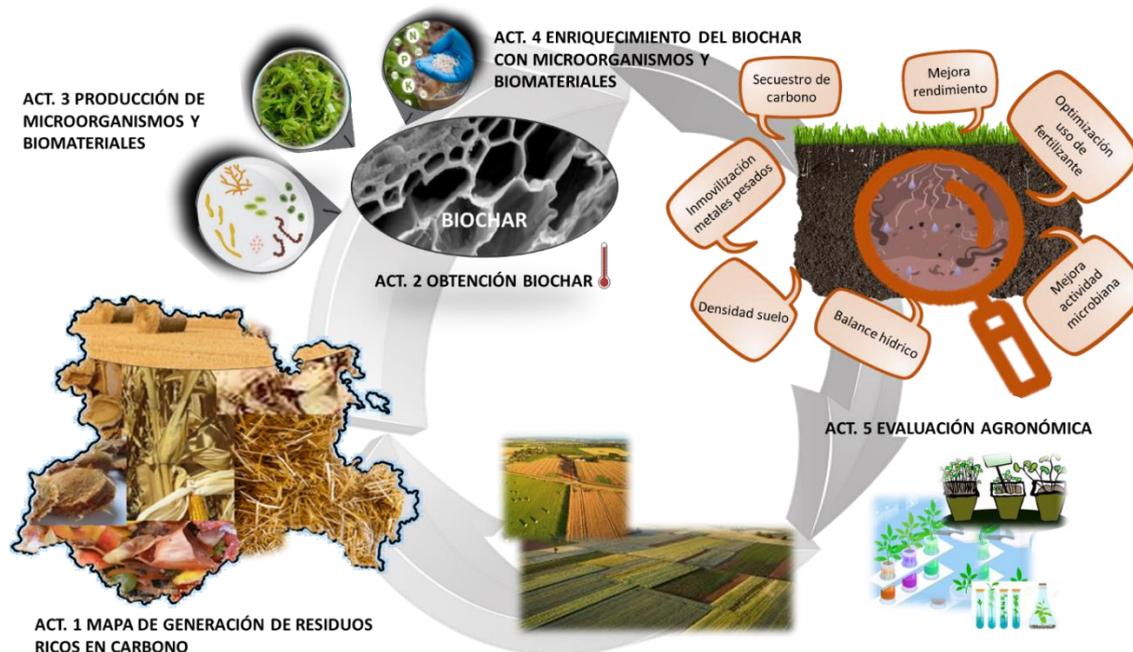
Bibliografía:

1. INE. (2022, 23 de diciembre). Cuentas medioambientales: Cuenta de los residuos. [Comunicado de prensa]. URL: https://www.ine.es/prensa/cma_2020_res.pdf
2. Jiang, S. Nguyen, T.A. H. Rudolph, V. Yang, H. Zhang, D. Ok, Y.S. Huang L. Characterization of hard- and softwood biochars pyrolyzed at high temperature. *Environ Geochem Health*. 39 (2017) p. 403-415
3. Sun, Y. Yu, I.K.M. Tsang, D.C.W. Fan, J. Clark, J.H. Luo, G. Zhang, S. Khan, E. Graham N.J.D. Tailored design of graphitic biochar for high-efficiency and chemical-free microwave-assisted removal of refractory organic contaminants. *Chemical Engineering Journal*, 398 (2020) p.125505
4. Deng, B. Yuan, X., Siemann, E. Wang, S. Fang, H. Wang, B. Gao, Y. Shad, N. Liu, X. Zhang, W. Guo, X. Zhang, L. Feedstock particle size and pyrolysis temperature regulate effects of biochar on soil nitrous oxide and carbon dioxide emissions. *Waste Management* 120 (2021) p. 33–40.
5. Suliman, W. Harsh, J. B. Abu-Lail, N. I. Fortuna, A. Dallmeyer, I. Garcia-Perez, M. Influence of feedstock source and pyrolysis temperature on biochar bulk and surface properties. *Biomass and Bioenergy*, 84 (2016) p. 37-48
6. Chen, D. Zhou, J. Zhang, Qisheng. Effects of heating rate on slow pyrolysis behavior, kinetic parameters and products properties of moso bamboo. *Bioresource Technology* 169 (2014) p. 313–319.
7. Agegnehu, G., Nelson, P.N., Bird, M. I. Crop yield, plant nutrient uptake and soil physicochemical properties under organic soil amendments and nitrogen fertilization on Nitisols. *Soil and Tillage Research*. 160, (2016), p. 1-13.
8. Ameloot, N. Graber, E.R. Verheijen, F.G.A. Neve, S. De. Interactions between biochar stability and soil organisms: review and research needs *Eur. J. Soil Sci.*, 64 (2013), pp. 379-390
9. Xie, Z.; Xu, Y.; Liu, G.; Liu, Q.; Zhu, J. Tu, C. Amonette, J.E. Cadisch, G. Yong, J.W.H. Hu, S. Impact of biochar application on nitrogen nutrition of rice, greenhouse-gas emissions and soil organic carbon dynamics in two paddy soils of China. *Plant and Soil*. 370, (2013) p. 527–540
10. Jeffery S, Verheijen F G A, van der Velde M and Bastos A C. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ*. 144, (2011), p 175–187.
11. Major, J.; Rondon, M.; Molina, D.; Riha, S.J.; Lehmann, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil*. 333, (2010) p. 117–128
12. Kavitha, B. Reddy, P.V.L. Kim, B. Lee, S.S. Pandey, S.K. Kim, K.H. Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: a review. *J. Environ. Manag.*, 227 (2018), pp. 146-154
13. Olmo Prieto, M. (2016). Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal.

1.5. Metodología de desarrollo del proyecto. Actividades y tareas a realizar. Resultados esperables de cada etapa.

1.5.1. Descripción de la metodología

El proceso de desarrollo que se llevará a cabo para el alcance de los objetivos del proyecto se describe a través de una serie de actividades consecutivas, las cuales involucran diversas tareas, como se detalla a continuación:



Actividad 1. Elaboración de un mapa de generación de residuos ricos en carbono en CyL

Lidera Itagra C.T

Participa ID Forest

El objetivo de realizar esta actividad es obtener un mapa, como resultado del desarrollo de un Sistema de Información Geográfica (SIG), que concentre la información relativa a la generación de residuos ricos en carbono producidos a nivel regional.

Tarea 1. Consulta bibliográfica para la identificación de la generación de residuos agroindustriales en la región

Ejecutan Itagra CT e ID Forest

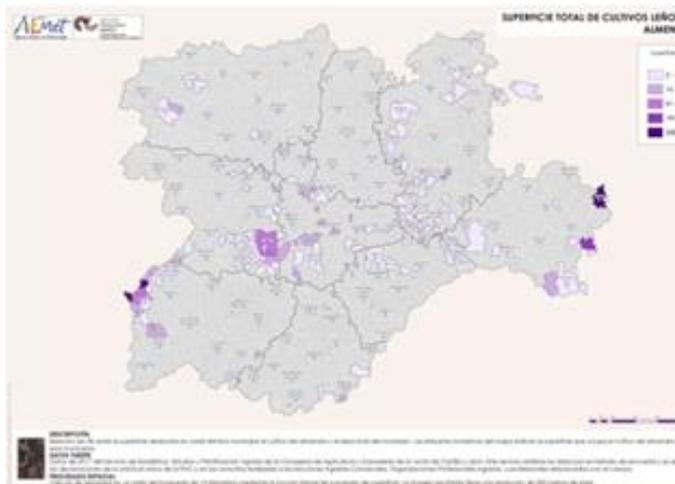
Una problemática importante presente en la actividad agroalimentaria es la generación de grandes volúmenes de residuos orgánicos. Según datos del INE (1), en el 2022 la generación de residuos vegetales a nivel nacional llegó a más de 690 mil toneladas, de los cuales casi 93% proviene de la industria manufacturera. En Castilla y León, el sector primario representa una actividad muy importante, con una superficie agrícola situada en más de 2,5 millones de ha. De manera que existe una gran cantidad de residuos agrícolas generados, desde los cultivos leñosos que incluyen residuos de poda de viñedos y frutales, pasando por los residuos de cultivos herbáceos como la paja de maíz, trigo y otros cereales. Pero también existe la generación de residuos ricos en biomasa tras la transformación de cultivos industriales como remolacha, oliva, entre otros. Aunque estos son menos contaminantes y peligrosos, su mala gestión puede provocar problemas ambientales, como altas emisiones de CO₂, o contaminación de las vías fluviales por lixiviados.

La primera tarea del proyecto, se llevará a cabo una amplia consulta bibliográfica en diferentes bases de datos como el Censo Agrario de 2020, entre otros informes regionales, para localizar la generación de residuos e identificarlos por: fuente, tipo, volumen de producción, temporada, características fisicoquímicas, contenido de carbono, porcentaje de reutilización, entre otros factores.

Tarea 2. Manejo de datos a través de un sistema de información geográfica para la generación de un mapa

Ejecuta Itagra CT

Se espera un gran volumen de información recabada en la tarea anterior sobre la fuente, tipo de residuos, volumen, temporalidad, características, etc., por tanto, esta información será ordenada y procesada a través de un programa informático (QGis, por ejemplo) para crear un Sistema de Información Geográfica (SIG). A través del programa se generarán mapas que reflejen la problemática a nivel territorial en CyL.



A su vez, el objetivo de contar con la información mostrada de manera espacial es facilitar la interpretación de los datos para proponer estrategias de manejo, acopio, reutilización, etc., contribuyendo a generar contextos de economía circular.

Tarea 3. Redacción de un manual de uso del SIG

Ejecutan Itagra CT e ID Forest

En esta tercera tarea, se propone redactar un documento específico en donde se presenten los mapas generados en la tarea anterior, acompañados de tablas y demás datos localizados geográficamente dentro de la comunidad autónoma, explicados brevemente a modo de guía, para facilitar su interpretación. A partir de ello, ponerlo al alcance de la administración pública, las cooperativas agrícolas, la industria y la población en general, con el propósito de que sea una herramienta útil para la gestión y el aprovechamiento de estos residuos, generando sistemas basados en economía circular.

Se prevé que el manual cuente con el siguiente contenido:

- Introducción, que describirá la problemática de los residuos agroindustriales en la región, sus objetivos y relevancia.
- Clasificación de residuos según: su fuente, volúmenes de producción, características fisicoquímicas, temporadas de generación y contenido de carbono.
- Estrategias de manejo y acopio recomendadas, así como métodos de reutilización y valorización de residuos, como la producción de biochar y biogás, promoviendo la economía circular en la región.
- Instrucciones para la utilización del Sistema de Información Geográfica (SIG) generado en la Tarea 2, facilitando la interpretación de los datos espaciales para la toma de decisiones
- Revisión de la normativa local, regional y nacional relacionada con la gestión de residuos agroindustriales, y presentará ejemplos de buenas prácticas y casos de estudio exitosos.

- Finalmente, las conclusiones y recomendaciones para la implementación de mejores prácticas y futuras investigaciones, con el objetivo de fomentar una gestión más sostenible y eficiente de los residuos en el sector agroindustrial de Castilla y León.

Actividad 2. Obtención de biochar a partir de residuos ricos en carbono

Lidera Itagra CT.

Participa ID Forest

El objetivo de esta actividad es contar con un producto nuevo, que cumpla características de diseño, como alto contenido en carbono, porosidad, superficie específica, etc., para proporcionar valor agronómico en los cultivos, a la vez que se reutiliza reduciendo la problemática que representa como residuo. Para ello se propone realizar las siguientes 3 tareas que se describen a continuación:

Tarea 4. Selección de residuos con potencialidad de ser materia prima para la producción de biochar

Ejecuta Itagra CT e ID Forest

La primer tarea a llevar a cabo dentro de esta actividad es realizar una matriz de evaluación ponderando propiedades óptimas que deba cumplir un residuo para ser transformado en biochar, por ejemplo: composición química, porcentaje de carbono, dureza, reactividad, etc., así como características de manejo, por ejemplo: volumen de producción, temporalidad, localización, entre otros factores, como que sea óptima para el desarrollo de los microorganismos, etc.; que permitan realizar una selección precisa de los residuos con mayor potencial de ser transformados para generar un modelo de economía circular.

Para el desarrollo de esta tarea, previamente serán caracterizados a nivel fisicoquímico, en el laboratorio de suelos de Itagra, al menos 5 residuos de origen agroindustrial identificados como potenciales a partir de la información bibliográfica de la actividad 1.

Tarea 5. Diseño del proceso de transformación de los residuos

Ejecuta Itagra CT

Como se ha mencionado anteriormente, la diversidad en la composición química de la materia prima puede influir en las características finales del Biochar, por ejemplo, cuanto mayor es el contenido de celulosa, hemicelulosa y/o lignina, mayor es la superficie específica, resultando en una mayor capacidad de retención de nutrientes y una menor producción de cenizas (Jiang 2017). Sin embargo, también son determinantes en el resultado final las condiciones operativas del proceso de transformación, por ejemplo: el pretratamiento de la muestra, la temperatura máxima de operación, el tiempo de calentamiento, incluso el volumen de residuos introducidos al reactor, son variables de diseño que serán ajustadas en pruebas previas a la producción de biochar en un reactor pirolítico piloto, con al menos 3 de los residuos seleccionados en el apartado anterior.

Tarea 6. Obtención de biochar

Ejecuta Itagra CT

El objetivo de esta tarea es el escalado de la producción en un reactor pirolítico de tamaño industrial. Las condiciones de proceso identificadas como óptimas en la tarea 5, serán programadas en reactor de mayor escala para la producción en mayor volumen de al menos 1 tipo de biochar a partir de los residuos seleccionado previamente, este biochar se empleará en las evaluaciones de las siguientes actividades.

Se realizarán análisis fisicoquímicos sobre las características edafológicas del material resultante, así como un análisis del contenido de metales pesados, HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos) y pruebas de fitotoxicidad para contar con una caracterización completa y comprobar que cumple con las exigencias del RD 506/2013 sobre productos fertilizantes para agricultura.

Actividad 3. Obtención y reproducción de microorganismos y biomateriales estimulantes de suelo y plantas

Lidera ID Forest

Participa Itagra CT

El objetivo de esta tarea es obtener diferentes cepas de microorganismos beneficiosos para las plantas, incluyendo hongos micorrícicos, bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) y organismos solubilizadores de diferentes nutrientes, así como establecer el protocolo para su reproducción en condiciones controladas de laboratorio.

Tarea 7. *Búsqueda de cepas de interés para su aplicación al biochar*

Ejecuta ID Forest

Para definir las cepas tanto de hongos como de bacterias que presentan mayor interés se realizará una primera revisión bibliográfica exhaustiva de los estudios más recientes al respecto. Se seleccionarán las cepas más interesantes entre las propias de IDForest y se adquirirán las cepas que se considere necesarias de los bancos de cepas que las tengan disponibles. Así, se pretenden seleccionar hongos micorrícicos, bacterias con actividad promotora del crecimiento vegetal y microorganismos solubilizadores de nutrientes y fijadores de nitrógeno.

Como resultado se obtendrá de esta tarea una serie de cepas de microorganismos que serán testadas para ser adicionadas al biochar: 2 hongos endomicorrícicos, 2 cepas PGPR y 1 cepa de bacteria fijadora de nitrógeno.

Tarea 8. *Ensayos de crecimiento bacteriano y pruebas PGPR*

Ejecuta ID Forest

Partiendo del total de especies bacterianas seleccionadas en la tarea anterior, se comenzarán a realizar ensayos de crecimiento bacteriano en medios sólidos y líquidos de laboratorio. Se controlarán las características físico químicas del medio de cultivo, adaptando el pH a las condiciones más cercanas a los valores obtenidos en el análisis del biochar (tarea 6). Se estudiará su tasa de crecimiento y se determinará la concentración de unidades formadoras de colonias (UFC) mediante recuento en cámara Thoma. Se realizarán ensayos de crecimiento en biorreactor a escala laboratorio, de cara a determinar la posibilidad de escalado en su producción.

Además, las cepas que presenten mejores resultados en cuanto a su multiplicación y seguimiento serán seleccionadas para evaluar sus capacidades PGPR, como la producción de ácido indol acético (AIA), la solubilización de fosfatos, la producción de sideróforos, la fijación de nitrógeno y el antagonismo contra patógenos específicos. Se seleccionarán aquellas cepas que presenten mejores resultados en cada una de las pruebas

Tarea 9. *Multiplicación esporal de hongos endomicorrícicos*

Ejecuta ID Forest

Los hongos endomicorrícicos presentan la peculiaridad de no poder ser cultivados en medios de cultivo en laboratorio, ya que crecen exclusivamente ligados a la raíz de una planta viva. Para la multiplicación de estos hongos se utilizan plantas trampa que, tras ser inoculadas, son sometidas a diferentes intensidades de estrés hídrico para estimular la esporulación del hongo. Este proceso se realizará en una cámara de crecimiento con temperatura, humedad y fotoperiodos controlados y se espera obtener como resultado un inóculo esporal concentrado para cada una de las especies de hongos seleccionadas.

Tarea 10. *Ensayos de compatibilidad*

Ejecuta ID Forest

Una vez seleccionadas las cepas de microorganismos, se establecerán ensayos de compatibilidad, incluyendo pruebas de co-cultivo para observar la interacción directa entre los organismos. Aquí, se evalúa si hay inhibición del crecimiento o, por el contrario, si se produce una sinergia que potencie su desarrollo. Además, es necesario evaluar la viabilidad de los microorganismos después de los ensayos, lo cual se puede realizar mediante la observación del

crecimiento en medios de cultivo sólidos o líquidos, o a través de la contabilización de unidades formadoras de colonias. Para los hongos, se puede determinar la viabilidad observando el crecimiento del micelio o evaluando la capacidad germinativa de las esporas bajo microscopía óptica.

Tarea 11. Selección de cepas final y formulación de pool de microorganismos

Ejecuta ID Forest

En función de todos los resultados obtenidos en laboratorio y tras un exhaustivo análisis de los datos obtenidos, se seleccionarán las mejores cepas de hongos y bacterias, se decidirá qué combinaciones de organismos se aplicarán al biochar para los posteriores ensayos.

Se formularán los inoculantes microbianos en forma líquida, sólida o gel, utilizando aditivos que favorezcan la viabilidad, la estabilidad y la adherencia de los microorganismos al biochar.

Como resultado se esperan obtener dos pools de microorganismos compatibles que serán evaluados en concentraciones diferentes.

Tarea 12. Obtención de bioestimulantes

Ejecuta Itagra CT

Se incluye una tarea más dentro de la actividad 3, para que, de forma paralela a la obtención de microorganismos, se desarrollen procesos de obtención de biomateriales como algas y extractos de plantas aromáticas que actúan como bioestimulantes en el suelo al entrar en contacto con las raíces de las plantas. Los procedimientos de obtención de cada biomaterial se describen a continuación:

- **Obtención de algas.** Se desarrollará de un consorcio de algas filamentosas autóctonas de los suelos agrícolas de la región, empleando la tipología de cultivo turf scrubber, que es una tecnología basada en el crecimiento de las algas en rampa por recirculación de los nutrientes que las alimentan, para ello se dosificará un fertilizante rico en nitrógeno en forma líquida, como los utilizados en hidroponía. Posteriormente se cosecharán las algas haciendo un raspado de la rampa, al ser algas filamentosas se obtiene una película fina que se seca fácilmente a temperatura ambiente. Una vez secas las algas, se realizará una molienda para tener un tamaño de partícula < 1 mm de diámetro, uniforme y capaz de ser adsorbida/adsorbida por el biochar.
- **Obtención de extractos de plantas aromáticas (PAM).** La extracción de las plantas aromáticas, al menos 2 especies, serán seleccionadas por que presenten actividad bioestimulante gracias a su composición química, para el crecimiento y como inductor de resistencia en especies de cultivos agrícolas. Esta extracción se realizará en los laboratorios de Itagra, donde se cuenta con el equipo necesario (placa calefactora, rotavapor, sistema de refrigeración, etc.) para desarrollar extracciones por destilación por arrastre de vapor o con solventes orgánicos. Una vez extraídos los aceites esenciales y los residuos del hidrolato, serán caracterizados y se seleccionará el de mejor calidad para usar en los ensayos posteriores.

Actividad 4. Enriquecimiento del biochar y/o otros residuos carbonosos con microorganismos, materiales y biomateriales sinérgicos

Lidera Itagra CT

Participa ID Forest

El propósito de esta cuarta actividad es mejorar las propiedades agronómicas que posee por sí mismo el biochar producido en la Actividad 2, a través del contacto en solución o mediante otros procesos físicos, para integrar en su estructura productos fertilizantes, enmiendas orgánicas, estimulantes de crecimiento y microorganismos benéficos para el suelo y los cultivos. Así mismo, se realizarán pruebas de enriquecimiento de otros materiales ricos en carbono (carbones minerales, bichar de diferente origen, u otros) que serán analizados y seleccionados, para que a través de la adición de distintos productos y bioproductos de uso agronómico incrementen sus capacidades mutuamente; comprobando a través de analíticas físico-químicas finales en

laboratorio especializado determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), análisis del tamaño de poro, área superficial y estudio de la morfología mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y microscopía electrónica de transmisión (TEM). Técnicas que permitirán obtener una comprensión detallada de las propiedades fisicoquímicas y estructurales del biochar enriquecido.

Tarea 13. Aditivado de los materiales con fertilizantes minerales: NPK

Ejecuta Itagra CT

Tras el estudio de compatibilidad, se llevarán a cabo procesos de enriquecimiento de los 5 materiales carbonosos con diversos productos fertilizantes compuestos de nitrógeno, fósforo, potasio u otros micronutrientes, por ejemplo: DAP, Potasa, NAC 27, Nitrosulfato, Urea, Sulfato de hierro, Superfosfato, Sulfato potásico, Kieserita, Calcimer 400, entre otros.

Los procesos de enriquecimiento contemplan la absorción de los fertilizantes en el interior de la estructura porosa de los materiales ricos en carbono, a través de 3 procesos:

- Contacto en solución acuosa variando el tiempo de agitación (a), para comprobar si a mayor tiempo de contacto mayor es la absorción de los fertilizantes en la matriz de carbono.
- Contacto en solución acuosa aplicando un incremento de temperatura (b), introduciendo la solución a una estufa para mantener una temperatura constante e incrementar la solubilidad de los fertilizantes.
- Contacto en solución acuosa aplicando un incremento de presión (c), introduciendo la solución a un reactor de acero aumentado la presión atmosférica para forzar la absorción de los nutrientes en solución a las matrices carbonosas.



Pruebas de absorción/adsorción de los materiales en las matrices carbonosas, (izq.) contacto en solución acuosa con agitación, (centro) con un incremento en la temperatura y (der.) con un incremento en la presión.

Tarea 14. Enriquecimiento del biochar con bioestimulantes

Ejecuta Itagra CT

Diversos bioestimulantes como extractos de algas, proteínas hidrolizadas, ácidos húmicos o biopolímeros, se utilizan para mejorar las condiciones del suelo y la salud de las plantas, sin embargo, generalmente presentan dificultades para perdurar en un ambiente de campo, bajo condiciones inestables de temperatura, humedad, pH, etc.

Los bioproductos que queremos desarrollar, serán derivados de extractos de plantas beneficiosas que aumentan, de forma natural, la resistencia de los cultivos a condiciones como la sequía y el estrés nutricional.

Los materiales ricos en carbono con los que se trabajarán en las tareas previas deben tener una estructura porosa con una amplia superficie de contacto para absorber/adsorber otros compuestos, entre ellos bioproductos. Con los cuales formarán una sinergia en su aplicación al suelo, brindando las propiedades de los propios carbonos, así como las de los bioproductos, permitiendo que estos últimos perduren durante más tiempo.

Se seleccionarán al menos 3 tipos de bioestimulantes para hacer una evaluación de su interacción con las matrices de carbono. Los procesos de adsorción/absorción se analizarán en base a las características del bioestimulante, probando diferentes condiciones del medio de contacto, así como el tiempo o la temperatura. Como resultado de esta tarea se contará con:

- Protocolos de absorción/adsorción de bioproductos en la matriz de carbono, basados en los requerimientos de cada bioestimulante elegido.
- Materiales compuestos entre la matriz de carbono y los bioestimulantes para ejecutar las pruebas de la actividad 5, interacción con semillas y plántulas bajo ambientes controlados.

Tarea 15. Enriquecimiento del biochar con microorganismos

Ejecuta ID Forest

Se formularán los inoculantes microbianos en forma líquida, sólida o gel, utilizando aditivos que favorezcan la viabilidad, la estabilidad y la adherencia de los microorganismos al biochar.

Se realizará la adición de los inoculantes microbianos al biochar. Se añadirán los inoculantes microbianos al biochar, siguiendo un diseño experimental que considere diferentes dosis, proporciones y las dos combinaciones de microorganismos previamente seleccionadas

Para evaluar estos efectos, se prevén los siguientes escenarios:

- Control 0 (C0): corresponde al ensayo en blanco, sin adición de comunidad microbiana.
- Comunidad 1 (C1): corresponde a la adición de las cepas de las comunidades microbianas seleccionadas.
- Comunidad 2 (C2): corresponde a la adición de las cepas de las comunidades microbianas seleccionadas.

Se adicionarán al biochar las siguientes combinaciones de dosis y comunidades de microorganismos:

DEFINICIÓN ESCENARIOS		DE	FACTOR DOSIS		
			D0	D1	D2
FACTOR CEPA	C0		C0D0	C0D1	C0D2
	C1		C1D0	C1D1	C1D2
	C2		C2D0	C2D1	C2D2

Se evaluará en cada uno de los escenarios el efecto de la adición de los inoculantes microbianos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del biochar, así como sobre la supervivencia, el crecimiento y la actividad de los microorganismos.

Como resultado se obtendrá un material compuesto por una matriz carbonosa y bacterias u hongos, para su uso como fertilizantes complejos.

Actividad 5. Evaluación agronómica en ambientes controlados

Lidera Itagra Ct

Participa ID Forest

Una primera evaluación sobre la efectividad de los compuestos formulados en entornos cercanos a su aplicación real será realizada en esta sección, a través de pruebas en suelo e *in vivo*, con distintas especies cultivables.

Tarea 16. Pruebas en suelo

Ejecuta Itagra CT

Realizar ensayos en distintos tipos de suelo es crucial para entender cómo el biochar enriquecido afectan en las propiedades fisicoquímicas del suelo y en su capacidad para mejorar la fertilidad y la retención de nutrientes. Estas pruebas permiten observar cómo el biochar interactúa con diferentes texturas y composiciones de suelo, modificando características como el pH, la capacidad de intercambio catiónico, la estructura del suelo y la retención de humedad. Además, evaluar el biochar enriquecido en ausencia de plantas, ayudará a aislar y comprender sus efectos específicos sobre el suelo sin la influencia de las necesidades y la absorción de nutrientes por parte de las plantas. Este enfoque proporciona una base sólida para optimizar las formulaciones de biochar antes de aplicarlas en condiciones de cultivo, asegurando que las mejoras en la salud del suelo se traduzcan en un mejor crecimiento y rendimiento de las plantas en ensayos posteriores.

Realizar estas pruebas en cámara climática con condiciones controladas de temperatura, humedad y radiación, eliminará la variabilidad externa, permitiendo estudiar las interacciones específicas del biochar con el suelo y asegurando la reproducibilidad de los resultados. Además, se facilitará de esta manera la identificación de las condiciones óptimas bajo las cuales el biochar mejora las propiedades del suelo, proporcionando datos precisos para desarrollar modelos predictivos y recomendaciones específicas para su uso en la agricultura.

Para cada tipo de suelo y aporte de biochar enriquecido se realizarán 3 réplicas con el fin de someter a tratamiento estadístico los datos obtenidos. Para ello se realizará un ANOVA para evaluar si existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos. En caso de encontrar diferencias significativas, se procederá a realizar pruebas post hoc (como Tukey) para identificar qué tratamientos específicamente difieren entre sí.

Estos datos a determinar serán:

Determinaciones en suelo:

- Determinación de contenido de carbono orgánico total y materia orgánica.

La materia orgánica del suelo actúa como un reservorio de nutrientes esenciales y mejora la capacidad de intercambio catiónico, facilitando la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Además, el carbono orgánico total es un indicador de la capacidad del suelo para secuestrar carbono, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático. Evaluar estos parámetros permite medir la efectividad del biochar y sus mezclas enriquecidas, en la mejora de las propiedades del suelo, y en la nutrición de los cultivos

- Análisis de nutrientes clave, macro y micro nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Fe, etc.) utilizando espectroscopia de plasma.

La determinación de la evolución de estos macros y micro nutrientes es decisiva, ya que son los responsables de optimizar el crecimiento de las plantas, mejorar la calidad del suelo y prevenir deficiencias o toxicidades. Los nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio son esenciales para la síntesis de proteínas, metabolismo energético y regulación osmótica, respectivamente. Elementos como el calcio, magnesio y hierro también juegan roles críticos en la estructura del suelo y procesos enzimáticos. Además, el biochar puede influir en la disponibilidad de estos nutrientes mediante el desbloqueo o bloqueo de nutrientes en el suelo. Por ejemplo, el biochar puede adsorber nutrientes, reduciendo su disponibilidad inmediata, pero al mismo tiempo puede mejorar la retención de nutrientes

y reducir la lixiviación, haciendo que estos nutrientes estén disponibles a largo plazo. El monitoreo periódico de estos nutrientes permitirá evaluar la eficacia del biochar enriquecido, asegurando que los beneficios esperados, como la mejora de la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos, se estén logrando de manera sostenible.

Para la recolección del lixiviado se usarán rizhon sampler, se regará cada maceta con una cantidad de agua conocida y suficiente para generar lixiviado; se insertará el rizhon sampler en el suelo de la maceta hasta la profundidad deseada, cerca del fondo, para capturar el lixiviado que ha pasado a través del perfil del suelo, con el aporte conocido de biochar enriquecido. Este lixiviado se analizará en un ICP-OES mediante espectroscopía de plasma, para su caracterización.

Instalación de sondas para monitoreo de parámetros en suelo:

- Evolución del pH del suelo a lo largo de los ciclos de cultivo.

El biochar puede alterar el pH del suelo de diversas maneras: algunos tipos de biochar tienen propiedades alcalinas que pueden neutralizar la acidez del suelo, aumentando el pH, mientras que otros pueden tener un efecto acidificante, dependiendo de su origen y proceso de producción. Monitorear el pH del suelo permite comprender cómo cada tipo de biochar interactúa con el suelo y si estos efectos son consistentes a lo largo del tiempo. Además, el pH del suelo influye directamente en la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas. Nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio tienen una disponibilidad óptima en rangos específicos de pH, por ejemplo, el fósforo es más disponible en suelos ligeramente ácidos a neutros (pH 6-7). Asimismo, la disponibilidad de micronutrientes como hierro, manganeso, zinc y cobre también está influenciada por el pH del suelo. Un pH fuera del rango óptimo puede llevar a deficiencias o toxicidades, afectando negativamente el crecimiento y la salud de las plantas.

Para evaluar el impacto de los tratamientos en el pH del suelo, se creará una matriz de datos basada en las mediciones instantáneas del pH obtenidas con sensores instalados en las macetas de ensayo. Se colocará un sensor por maceta, para cada aporte de biochar enriquecido y controles, por cada tipo de suelo.

Esta matriz organizará los datos de pH para cada tratamiento y permitirá analizar cómo varía el pH del suelo a lo largo del tiempo. Con esta información, se podrá observar cómo el biochar enriquecido y otros tratamientos afectan al pH del suelo, identificaremos tendencias de los tratamientos según sea necesario para optimizar las condiciones del suelo para los cultivos.

- Capacidad de retención de agua (CRA)

Para una evaluación completa de la capacidad de retención de agua y la eficiencia de los tratamientos aplicados, se desarrollará una matriz de datos que integrará las mediciones instantáneas de humedad obtenidas de unas sondas que se colocarán en las macetas de ensayo, instaladas por cada tratamiento con biochar, incluidos los controles, y por cada tipo de suelo.

Esta matriz permitirá organizar y analizar sistemáticamente los datos de humedad del suelo en función de las distintas aplicaciones de biochar enriquecido y otros tratamientos control. Cada celda de la matriz representará las mediciones de humedad del suelo en momentos específicos y a la misma profundidad para cada ensayo.

El análisis de los datos arrojados de esta matriz permitirá observar la evolución temporal de la retención de agua y la eficacia de cada tratamiento para mantener la humedad del suelo. Además, se podrán identificar patrones y correlaciones entre los tratamientos y su impacto en la capacidad del suelo para almacenar agua.

Esta herramienta analítica facilitará el ajuste y la optimización de los tratamientos al proporcionar una visión clara de cómo cada variante de biochar enriquecido influye en la retención de agua y en la disponibilidad de agua para los cultivos, asegurando una matriz basada en datos sólidos y bien fundamentados.

Tarea 17. Pruebas *in vitro* e *in vivo*

Ejecuta Itagra CT

Luego de obtener materiales compuestos de base carbono, enriquecidos con macro y micronutrientes, de origen mineral u orgánico, el efecto directo que ejercerá sobre un cultivo se evaluará preliminarmente en pruebas de germinación *in vitro*, seleccionando semillas de 10 especies cultivables en la región, como cereales, oleaginosas y leguminosas.

Previamente se realizará el test de Zucconi, para determinar la fitotoxicidad bajo condiciones experimentales bien definidas. Si la toxicidad es nula o muy baja, se procederá a evaluar las especies agrícolas.

Una vez identificado el efecto de la adición de los materiales carbonosos y sus mezclas enriquecidas sobre las semillas, se realizarán pruebas con plántulas de las 10 especies de cultivos seleccionados. Estas pruebas se llevarán a cabo en maceta, bajo condiciones controladas de temperatura (25 °C), humedad (70%HR) y luz (fotoperiodo 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad) en cámara climática, lo que evitará la variabilidad de condicionantes climatológicos externos.

Una vez establecido el ensayo, se realizarán 3 réplicas por especie y por cada tratamiento aplicado para poder dar robustez a los datos obtenidos mediante análisis estadístico de los datos obtenidos.

Para evaluar la efectividad del biochar enriquecido en un entorno controlado, como una maceta en una cámara climática, es crucial realizar una serie de mediciones tanto en el suelo como en las plantas. Aquí se detallan las mediciones y los resultados esperados:

Determinaciones en el suelo de cultivo serán las mismas que las detalladas en la tarea 16

Instalación de sondas para monitoreo de parámetros en suelo (detallada en tarea 16)

Se instalará una sonda por cada tratamiento con biochar, incluidos los controles, y por cada tipo de cultivo.

Análisis de biomasa

Se realizarán analíticas no destructivas en los cultivos de ensayo para monitorear su desarrollo y estado de salud.

Entre estas técnicas se incluyen el uso de índices de vegetación como el **NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada)**, que permite evaluar la densidad y vigor de la vegetación a través de imágenes multiespectrales, proporcionando datos sobre el contenido de clorofila y la cobertura vegetal. Se podrá emplear **N-Tester**, un dispositivo portátil que mide el contenido de clorofila en las hojas, lo cual está directamente relacionado con el estado nutricional de la planta y la disponibilidad de nitrógeno. Otras técnicas útiles incluyen el **SPAD (Soil Plant Analysis Development)**, que mide la concentración de clorofila y, por ende, el estado nutricional, y el uso de **cámaras térmicas** para evaluar el estrés hídrico y la temperatura foliar. **Fluorómetro**, es este un dispositivo que mide la fluorescencia de la clorofila en las hojas cuando se iluminan con una luz específica. La intensidad de la fluorescencia se correlaciona con el contenido de clorofila y la eficiencia fotosintética de la planta.

Estas herramientas permitirán obtener información detallada y en tiempo real sobre la salud y el crecimiento de las plantas sin dañarlas, facilitando la evaluación de los efectos de los distintos tratamientos de biochar enriquecido, frente a los controles de los ensayos.

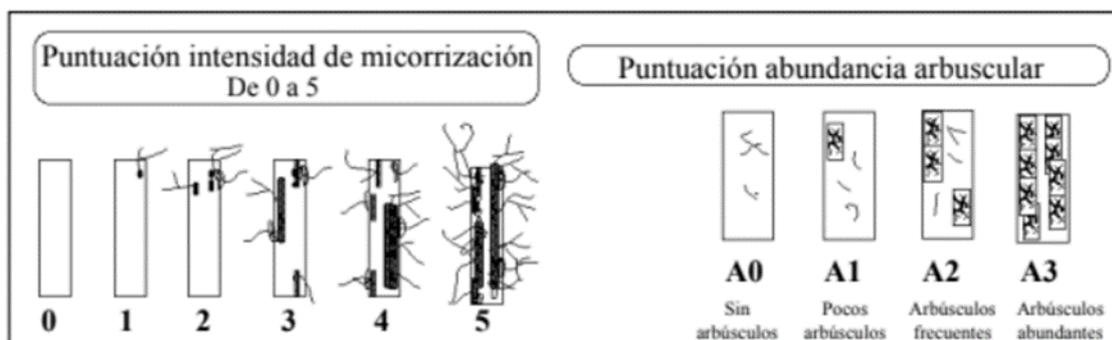
Tarea 18. Identificación de microorganismos en raíces y suelos

Ejecuta ID Forest

Evaluación de la presencia de hongos micorrícicos en las raíces de las plantas: Para evaluar la presencia de hongos micorrícicos es necesario procesar las raíces contenidas en las muestras, eliminando cualquier resto de materia orgánica/inorgánica y someterlas posteriormente a un proceso de tinción (Métodos de Vierheilig et al, 1998, y Phillips and Hayman, 1970) que permite evaluar la colonización del sistema radicular por hongos micorrícicos arbusculares (hongos endomicorrícicos). El agente colorante empleado en la técnica tiñe solamente y de un color azul intenso las estructuras que tengan quitina (es decir, las estructuras fúngicas presentes

en el interior de las raíces). Las células vegetales no se tiñen. Tras el proceso de tinción, se evalúan al microscopio las raíces para comprobar si dentro de las células vegetales hay presencia de hongos micorrícicos y qué tipo de estructuras se encuentran. Para la evaluación de la presencia de estructuras micorrícicas en el interior de las muestras radiculares se empleará el método de Trouvelot et al., 1986, en el que se cuantifican al microscopio los siguientes parámetros:

- Frecuencia de micorrización (F%)
- Intensidad micorrícica en el sistema radicular (M%)
- Intensidad micorrícica en los fragmentos radiculares observados (m%)
- Abundancia arbuscular de la zona micorrizada (a%)
- Abundancia arbuscular total del sistema radicular (A%)



Puntuaciones de intensidad de micorrización y abundancia arbuscular de muestras radiculares.

Cada raíz recibe un único código resultado de la combinación de ambas puntuaciones (Ej: 2-A0; 2-A3; 4-A1, 5-A2).

- Evaluación de comunidades bacterianas: Para evaluar la presencia y viabilidad de las especies bacterianas inoculadas al biochar, se realizarán aislamientos a partir de las muestras de suelo. Para ello se utilizará solución ringer y diluciones seriadas a partir de la muestra de suelo homogeneizada. Estas diluciones ayudan a reducir la concentración de bacterias para facilitar el aislamiento de colonias individuales. Una vez preparadas las diluciones, se procede a inocular placas de agar con las diferentes diluciones, utilizando técnicas asépticas para evitar contaminaciones. Las placas se incuban a una temperatura adecuada para el crecimiento bacteriano. Después de la incubación, se seleccionan las colonias aisladas para su posterior análisis e identificación mediante extracción de ADN y secuenciación Sanger

Actividad 6. Difusión de resultados

Lidera Itagra CT

Participa ID Forest

Tarea 19. Programa de comunicación

Ejecutan Itagra CT e ID Forest

Se propone un programa de comunicación que involucre distintos canales de interacción con los principales agentes de interés para el proyecto durante los 36 de actividades. Por ejemplo:

- Redes sociales. Se realizarán publicaciones periódicas a través de canales digitales como redes sociales (LinkedIn, FB, IG) y en la página web itagra.es para dar seguimiento de los avances del proyecto.
- Contenido audiovisual. Se realizará un video del proyecto para mostrar de una forma más didáctica los aspectos técnicos de cada proceso de investigación que forman parte de este proyecto al inicio y otro al final para presentar los principales resultados.

- Notas de prensa. Se redactarán notas de prensa con los avances de cada actividad ejecutada y artículos con los resultados más significativos, para enviar a programas de radio, televisión, publicaciones técnicas y prensa generalista de la región.
- Foros técnicos. Se participará en foros técnicos agrícolas, agroalimentarios y de innovación biotecnológica, para exponer los ejes centrales, avances del proyecto y beneficios de la investigación a los posibles usuarios finales de los productos desarrollados en el proyecto.

Tarea 20. Focus Group

Ejecutan Itagra Ct e ID Forest

El grupo focal tiene como objetivo realizar un análisis de la viabilidad comercial del producto que se ha desarrollado previo a la salida a mercado, a través de una participación dinámica con los agentes que van a intervenir directa o indirectamente en el éxito o fracaso de la comercialización de este nuevo producto. Para este proyecto de desarrollo se propone convocar a 15 personas que representen al sector agrícola (cooperativas, agricultores, técnicos de campo, etc), la industria de fertilizantes (producción y distribución), la industria de carbón (extracción, transformación y distribución), Investigadores de centros de I+D (públicos o privados), entre otros. Tras la interacción de los agentes en una jornada de presentación del proyecto, resultados y evaluación, se obtendrán los debilidades, fortalezas, oportunidades y amenazas (DAFO) de los productos desarrollados en el proyecto.

Tarea 21. Interacción con los principales agentes involucrados

Ejecutan Itagra CT e ID Forest

Con el propósito de hacer más eficiente y directa la transferencia de los resultados y conclusiones del proyecto a los agentes involucrados en el mismo, se establecerá un procedimiento participativo, a través de talleres que se solapen con las actividades técnicas del proyecto. De esta forma se pretende que las personas interesadas puedan ver de primera mano la evolución de los ensayos. Para ello se realizarán convocatorias por correos electrónicos, redes sociales, de las fechas y encuentros en los diferentes ensayos. El aforo será de 15 personas y la explicación de lo que se vaya a realizar estará guiada por el propio técnico/investigador responsable de actividad.

1.5.2. Actividades/Tareas y resultados

DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD / TAREA	DURACIÓN	RESULTADOS ESPERADOS
Actividad 1. Elaboración de un mapa de generación de residuos ricos en carbono en CyL	5 meses	Un SIG, que concentre la información relativa a la generación de residuos ricos en carbono en la región.
Tarea 1. Consulta bibliográfica para la identificación de la generación de residuos agroindustriales en la región	3 meses	Un diagnóstico a nivel regional de la generación de residuos y su potencialidad para ser transformados en biochar.
Tarea 2. Manejo de datos a través de un sistema de información geográfica para la generación de un mapa	2 mes	Un mapa descriptivo de la generación de los residuos por localización, tipo, volumen, estacionalidad, propiedades, etc.
Tarea 3. Redacción de un manual	1 mes	Una guía de uso de la información generada, como una base de datos, a través de mapas y tablas de consulta rápida.

DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD / TAREA	DURACIÓN	RESULTADOS ESPERADOS
Actividad 2. Obtención de biochar a partir de residuos ricos en carbono	7 meses	Un biochar con características ideales para aplicaciones agronómicas
Tarea 4. Selección de residuos con potencialidad de ser materia prima para la producción de biochar	1 mes	Un listado de residuos caracterizados físicoquímica y logísticamente con potencialidad para ser transformados en biochar
Tarea 5. Diseño del proceso de transformación de los residuos	4 meses	El diseño del proceso pirolítico para la transformación de los residuos
Tarea 6. Obtención de biochar	2 meses	El biochar producido con las características y en los volúmenes necesarios para emplearlo en las siguientes pruebas del proyecto
Actividad 3. Obtención y reproducción de microorganismos y biomateriales estimulantes de suelo y plantas	14 meses	Los biomateriales que se emplearán en la actividad posterior para el enriquecimiento del biochar
Tarea 7. Búsqueda de cepas de interés para su aplicación al biochar	3 meses	Lista de posibles microorganismos y cepas disponibles en el laboratorio para ensayos posteriores
Tarea 8: Ensayos de crecimiento bacteriano y pruebas PGPR	5 meses	Selección de los microorganismos (hongos y bacterias) a probar en el enriquecimiento de biochar, compatibles y de crecimiento alto.
Tarea 9: Multiplicación esporal de hongos endomicorrícicos	8 meses	El material biológico necesario para los ensayos de compatibilidad
Tarea 10: Ensayos de compatibilidad	10 meses	Un análisis de la identificación de microorganismos que pueden coexistir en conjunto para usar posteriormente
Tarea 11: Selección de cepas final y formulación de pool de microorganismos	10 meses	El pool de microorganismos que se empleará para el enriquecimiento del biochar
Tarea 12: obtención de bioestimulantes	5 meses	Los materiales bioestimulantes para el enriquecimiento del biochar
Actividad 4. Enriquecimiento del biochar y/o otros residuos carbonosos con microorganismo, materiales y biomateriales sinérgicos	16 meses	El biochar con propiedades agronómicas mejoradas a través de procesos de enriquecimiento
Tarea 13. Aditivado de los materiales con fertilizantes minerales: NPK	6 meses	Un material compuesto por el biochar y macronutrientes, para su uso como fertilizante complejo
Tarea 14. Enriquecimiento de los materiales carbonosos con bioestimulantes	6 meses	Un material compuesto por el biochar y biomateriales para su uso como fertilizante complejo
Tarea 15 Enriquecimiento de los materiales carbonosos con microorganismos	8 meses	Un material compuesto por una matriz carbonosa y un pool de

DESCRIPCIÓN ACTIVIDAD / TAREA	DURACIÓN	RESULTADOS ESPERADOS
		bacterias y hongos, para su uso como fertilizante complejo
Actividad 5. Evaluación agronómica en ambientes controlados	10 meses	Un informe sobre la efectividad agronómica de la aplicación de los fertilizantes complejos obtenidos en la actividad de enriquecimiento
Tarea 16. Pruebas en suelo	7 meses	Informe estadístico del comportamiento de los diferentes tipos de suelos tras la aplicación del biochar enriquecido
Tarea 17. Pruebas in vitro e in vivo con material vegetal	7 meses	Informe estadístico con los resultados de la germinación de semillas y el desarrollo de las plántulas en contacto con el biochar enriquecido
Tarea 18. Identificación de microorganismos en raíces y suelos	4 meses	Informe sobre la presencia y actividad de los hongos micorrícicos en las raíces de las plantas de los tratamientos donde fueron añadidos en conjunto con el biochar
Actividad 6. Difusión de resultados	36 meses	Folletos, infografías, publicaciones en RRSS, página web y demás materiales de divulgación
Tarea 19. Programa de comunicación	36 meses	La estrategia de comunicación para hacer divulgación de los resultados en los sectores de interés
Tarea 20. Focus Group	2 meses	Informe con las conclusiones del Grupo Focal
Tarea 21. Interacción con los principales agentes involucrados	36 meses	Informe con las conclusiones de las diferentes actividades ejecutadas con los principales agentes de interés en el proyecto

1.7. Al tratarse de proyectos en Colaboración Efectiva: explicar la necesidad de dicha colaboración y la distribución de actividades y tareas entre los socios

La colaboración estratégica entre ITAGRA.CT e ID Forest se sustenta en una complementariedad tecnológica que abarca todas las fases críticas del proyecto. ITAGRA.CT aporta su profundo conocimiento en investigación agraria y su capacidad avanzada para llevar a cabo ensayos agronómicos bajo condiciones controladas. Esto incluye el uso de cámaras climáticas y laboratorios equipados con tecnología de punta para la evaluación precisa del biochar. Su experiencia en el desarrollo de cultivos y el análisis detallado de suelos y cultivos es fundamental para optimizar la producción y mejorar las propiedades agronómicas del biochar.

Por su parte, ID Forest trae consigo un enfoque especializado en biotecnología forestal y la manipulación y producción de microorganismos beneficiosos. Su capacidad para identificar y aplicar microorganismos específicos que pueden enriquecer el biochar es esencial para potenciar sus efectos como enmienda agrícola. La integración de estos microorganismos no solo mejora las propiedades físicas y químicas del biochar, sino que también fortalece su capacidad para promover la salud del suelo y aumentar la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

En términos tecnológicos, la colaboración entre ITAGRA.CT e ID Forest permite una sinergia única donde la investigación aplicada y la innovación biotecnológica convergen. Esta asociación no solo optimiza el proceso de producción de biochar, sino que también asegura que los productos finales sean altamente eficaces y adaptados a las necesidades agronómicas específicas. Esta integración de conocimientos y recursos tecnológicos avanzados es fundamental para desarrollar soluciones sostenibles y de alto valor en el ámbito de la agricultura y la gestión de recursos naturales.

1.8. Alineamiento con los ámbitos tecnológicos de Castilla y León

Para alinear efectivamente los proyectos de bioeconomía y agricultura sostenible con los ámbitos tecnológicos específicos de Castilla y León, es esencial capitalizar las fortalezas regionales y abordar las necesidades particulares del sector agrícola y agroalimentario. Castilla y León se distingue por su vasto potencial agrícola, la abundancia de recursos naturales y una rica tradición agroalimentaria. En este contexto, el uso de residuos agrícolas, forestales y agroindustriales para la producción de biochar y otros productos agronómicos emerge como una oportunidad estratégica. Este enfoque no solo optimiza los recursos locales, reduciendo residuos y promoviendo la economía circular, sino que también puede diversificar y fortalecer la cadena de valor agrícola regional.

Para lograr esto, se debe invertir en el desarrollo y la adaptación de tecnologías avanzadas de conversión de residuos, como la pirolisis, optimizando procesos para maximizar la eficiencia y la calidad de los productos derivados. Es crucial que estas tecnologías sean escalables y económicamente viables, permitiendo su adopción tanto por pequeños agricultores como por grandes empresas agroalimentarias de la región. Además, fomentar la investigación y la colaboración entre actores clave como empresas, universidades y centros de investigación locales es fundamental para estimular la innovación y el desarrollo tecnológico en el sector.

La creación de clusters o redes de innovación puede facilitar la transferencia de conocimientos y la cooperación entre diferentes partes interesadas, acelerando la comercialización de nuevas tecnologías y productos derivados del biochar. Paralelamente, es necesario implementar programas educativos y de capacitación destinados a agricultores, técnicos y emprendedores, promoviendo la adopción efectiva de prácticas agrícolas sostenibles y tecnologías innovadoras. Esto no solo mejora la competitividad del sector agrícola local, sino que también asegura que las prácticas adoptadas cumplan con los estándares ambientales y de sostenibilidad, alineados con las políticas regionales y europeas.

Además, integrar criterios de sostenibilidad y medir el impacto ambiental, económico y social de los proyectos de bioeconomía es crucial. Esto implica el desarrollo y la implementación de métricas y herramientas de evaluación que permitan monitorear de manera efectiva los beneficios generados,

asegurando un desarrollo económico que respete los recursos naturales y mejore la calidad de vida de las comunidades locales.

La bioeconomía representa un sector prioritario en Castilla y León, especialmente dado el peso significativo de la agricultura y la agroindustria en esta región. El proyecto que presentamos, centrado en la investigación y desarrollo de biochar y otros productos derivados de residuos agrícolas, se alinea perfectamente con la Estrategia de Investigación e Innovación para una Especialización Inteligente (RIS3) de Castilla y León. Este enfoque se encuadra dentro del ámbito tecnológico de la bioeconomía, impulsando la creación y optimización de bioproductos y biomateriales avanzados. Además, fomenta la emergencia de nuevas empresas de base biotecnológica, capitalizando los avances en la transformación de residuos agrícolas en soluciones sostenibles y económicamente viables para el sector agroindustrial.

1.9. Impacto debido a la realización del proyecto en las entidades solicitantes (nuevas actuaciones de I+D, impacto en otras actuaciones existentes de I+D, etc.)

La producción y utilización de biochar a partir de residuos puede tener un impacto económico significativo en diversos sectores a nivel regional y nacional, particularmente para **Itagra CT**, enfocada en la agronomía y prácticas agrícolas sostenibles. Implementar este proyecto permitirá a Itagra desarrollar nuevas actuaciones de investigación y desarrollo (I+D) que optimicen las tecnologías de pirólisis para la producción eficiente y sostenible de biochar. Este avance no solo mejorará la calidad del suelo y la productividad agrícola, evidenciado por estudios como el realizado por la Universidad de Córdoba que demuestra un incremento del 20% en la producción de trigo con biochar, sino que también reducirá costos asociados con la gestión de residuos al transformar subproductos en valiosas enmiendas agrícolas.

Llevar a campo este proyecto, podría ofrecer a Itagra CT valiosas oportunidades para la investigación y desarrollo (I+D) en la optimización de formulaciones de biochar adaptadas a distintos tipos de suelos y cultivos, mejorando su efectividad en la retención de agua, ajuste del pH y disponibilidad de nutrientes. Los datos obtenidos permitirán evaluar a largo plazo el impacto del biochar en la salud del suelo y la estabilidad del carbono almacenado, refinando las prácticas basadas en I+D. Se desarrollarán técnicas de aplicación mejoradas y se explorará el potencial del biochar en la biorremediación y el control de patógenos del suelo. Además, la integración del biochar en sistemas de agricultura regenerativa y modelos de economía circular impulsará la innovación en prácticas agrícolas sostenibles y en la gestión de recursos y residuos. Este enfoque integral no solo validará y ajustará los beneficios observados en el laboratorio, sino que también abrirá nuevas avenidas para la I+D en soluciones agrícolas ecológicas y sostenibles. La investigación en métodos para aplicar biochar inoculado con microorganismos, junto con su potencial para la biorremediación de suelos contaminados, también será un área clave de desarrollo. Esto permitirá a **Itagra CT** crear sinergias con otras entidades especializadas, para explorar la eficacia de biochar combinado con microorganismos para fortalecer la salud del suelo y promover prácticas agrícolas más resilientes y sostenibles. El impacto del proyecto se extenderá a la implementación de modelos de economía circular para promover la producción y uso de biochar, lo que reducirá costos y aumentará la viabilidad económica de las prácticas agrícolas sostenibles.

La incorporación de microorganismos al biochar representa una innovación significativa en las prácticas de I+D de **IDFOREST**, con el potencial de mejorar sustancialmente la calidad del biochar y, por ende, su efectividad como enmienda del suelo.

En términos de I+D, la empresa podría establecerse como pionera en la aplicación de esta tecnología, abriendo nuevas líneas de investigación y desarrollo de productos. Como resultado de los ensayos llevados a cabo en este proyecto, se encontrarán formulaciones específicas de microorganismos y métodos de incorporación de los mismos al biochar, conocimiento susceptible de ser protegido mediante patente o modelo de utilidad.

El impacto en las actuaciones existentes de I+D podría ser la integración de este nuevo enfoque en los procesos actuales, mejorando la eficiencia y la eficacia de las soluciones de biochar ya existentes. Asimismo, la colaboración con otras entidades para explorar las aplicaciones y beneficios del biochar enriquecido podría fortalecer la posición de **IDFOREST** en el mercado y fomentar asociaciones estratégicas. Este proyecto también podría generar oportunidades de

empleo y formación especializada, contribuyendo al desarrollo económico local y al avance del sector agroforestal. Por último, la adopción de esta tecnología podría mejorar la percepción pública de la empresa como líder en innovación y compromiso ambiental.

1.10. Creación de empleo. Titulación, perfil y experiencia profesional, breve CV de la/s nueva/s contrataciones

Para el desarrollo de este proyecto, tenemos previsto realizar una nueva contratación. En el momento de presentación de la solicitud no está decidida la persona a contratar pero se buscará un técnico con titulación media o superior relacionada con el sector agrario (titulaciones agrícolas, forestal, medioambiental, biología, química, etc.)

2. TECNOLOGÍA A APLICAR E INNOVACIONES TECNOLÓGICAS DEL PROYECTO

2.1. Tecnologías más significativas incorporadas al proyecto. Nivel de desarrollo de las mismas a nivel regional, nacional e internacional.

La **producción de biochar** mediante tecnologías avanzadas de pirólisis, tanto lenta como rápida, permite transformar residuos orgánicos en biochar de alta calidad. A nivel regional, esta tecnología se encuentra en fase inicial, con algunos proyectos piloto en universidades y centros de investigación, como la Universidad de Castilla-La Mancha, que tiene un proyecto piloto con una capacidad de procesamiento de 1 tonelada de residuos orgánicos al mes. En el ámbito nacional, España cuenta con unas 5 plantas de producción de biochar que procesan aproximadamente 10.000 toneladas de residuos anualmente, mientras que, a nivel internacional, países como EE.UU., Alemania y China tienen más de 100 plantas con una capacidad combinada que supera las 500.000 toneladas anuales.

El **enriquecimiento** del biochar con abonos minerales, orgánicos, algas y microorganismos es otra tecnología clave del proyecto. Regionalmente, esta práctica está en fase experimental, con investigaciones en curso para optimizar las formulaciones de enriquecimiento, como el proyecto del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) que abarca 50 hectáreas de cultivo experimental. A nivel nacional, varias universidades como la Politécnica de Valencia están trabajando en la adición de compost, evaluando su impacto en 200 hectáreas de cultivos de cítricos. Internacionalmente, empresas como Swiss Biochar producen biochar enriquecido con una capacidad de 30.000 toneladas al año.

La **producción de microorganismos beneficiosos** para la agricultura es un campo en constante desarrollo que abarca desde el nivel regional hasta el internacional. En Castilla y León, la microbiología aplicada a la agricultura está en expansión, con un enfoque en limitar la degradación del suelo y mejorar la retención de agua y nutrientes, lo que es crucial para el desarrollo sostenible de la agricultura. En España, empresas como Symborg lideran el desarrollo de bioestimulantes y biofertilizantes basados en microorganismos, con un enfoque en la sostenibilidad y la maximización del rendimiento de los cultivos. Biológica Nature es otra empresa destacada que se dedica al aislamiento y utilización de microorganismos beneficiosos para mejorar las condiciones fisiológicas de las plantas y la fertilidad de los suelos. A nivel internacional, compañías como Biocontrol Technologies ofrecen soluciones biológicas para controlar enfermedades de los cultivos, mientras que Atens se posiciona como referente mundial en microorganismos para optimizar la gestión del suelo. Los biofertilizantes basados en microorganismos representan la vanguardia en la investigación y aplicación de soluciones biotecnológicas para una agricultura más productiva y sostenible. Las nuevas políticas europeas son cada vez más restrictivas con la aplicación de fertilizantes químicos, por lo que la búsqueda de nuevas prácticas de fertilización amigables con el medio ambiente resulta cada vez más interesantes y beneficiosas tanto para los productores como para el ecosistema.

Las **pruebas** en laboratorio son esenciales para evaluar las propiedades del biochar y sus combinaciones. Regionalmente, laboratorios universitarios y centros de investigación, como el de la Universidad de Salamanca, realizan más de 1.000 pruebas anuales. Nacionalmente, instituciones como el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) realizan alrededor de 5.000 pruebas de biochar anualmente. Internacionalmente, centros de referencia mundial como el International Biochar Initiative (IBI) realizan decenas de miles de pruebas al año. Las pruebas en cámara climática permiten simular condiciones reales y optimizar el uso del biochar en diferentes escenarios agrícolas. A nivel regional, instalaciones como la de la Universidad de Zaragoza pueden simular condiciones para 100 metros cuadrados de cultivo, mientras que, en el ámbito nacional, el Instituto de Agrobiotecnología (IdAB) cuenta con instalaciones que permiten simular condiciones para hasta 500 metros cuadrados de cultivo. Internacionalmente, estas tecnologías están muy avanzadas, con centros de investigación que pueden simular condiciones para miles de metros cuadrados, evaluando decenas de variables ambientales simultáneamente.

Estas tecnologías integradas en el proyecto no solo mejoran la producción agrícola y la gestión de residuos, sino que también fomentan la investigación y el desarrollo continuo, asegurando que el proyecto esté a la vanguardia de la innovación en biochar y sostenibilidad agrícola. La producción combinada de biochar y microorganismos, junto con la optimización de su aplicación, promete un impacto significativo en la agricultura sostenible a nivel regional, nacional e internacional.

2.2. Innovaciones tecnológicas que presenta el proyecto (señalar si las innovaciones son a nivel regional, nacional o internacional).

El proyecto presenta innovaciones tecnológicas significativas en la producción de biochar, enfocándose en la utilización de residuos orgánicos y agrícolas como materia prima. La implementación de técnicas avanzadas de pirólisis para maximizar la eficiencia de producción y minimizar los residuos representa una mejora a nivel regional y nacional. A nivel internacional, el proyecto se alinea con las mejores prácticas globales, promoviendo la sostenibilidad y la economía circular.

Una de las innovaciones clave es el enriquecimiento del biochar con materiales adicionales como abono mineral, orgánico, algas y microorganismos específicos. Esta práctica no solo mejora las propiedades agronómicas del biochar, sino que también incrementa su capacidad de retención de nutrientes y agua. Esta innovación es relevante a nivel nacional, posicionando al proyecto en la vanguardia de las prácticas agrícolas sostenibles.

El desarrollo y producción de microorganismos beneficiosos específicos para ser incorporados al biochar es una innovación crucial. IDforest, como entidad líder en esta área, aporta tecnologías avanzadas de cultivo y biofermentación de microorganismos. Este componente del proyecto tiene un impacto significativo tanto a nivel nacional como internacional, dado el creciente interés en la microbiología agrícola y sus aplicaciones.

La evaluación por parte de Itagra CT del biochar y sus versiones enriquecidas en condiciones controladas de laboratorio y cámara climática representa una innovación en los métodos de investigación agrícola. Estas pruebas permiten una comprensión detallada de los efectos del biochar en diferentes tipos de suelo y cultivos, proporcionando datos precisos y fiables. A nivel regional y nacional, esta metodología establece un estándar para futuros estudios y aplicaciones del biochar. El ajuste y optimización de parámetros operativos como la temperatura, el tiempo de residencia y el tipo de residuos utilizados en la producción de biochar es otra innovación destacada. Este enfoque científico y metódico asegura que el biochar producido tenga la mejor calidad posible, adaptándose a las necesidades específicas de diferentes aplicaciones agrícolas. Esta innovación es relevante a nivel nacional e internacional.

El proyecto también incluye la creación de formulaciones personalizadas de biochar, adaptadas a distintos tipos de cultivos y suelos. Esta personalización asegura que los beneficios del biochar se maximicen según las condiciones específicas de cada aplicación, lo cual es una innovación tecnológica significativa a nivel nacional.

La investigación en métodos de aplicación más eficientes y uniformes del biochar enriquecido es una innovación importante que impacta a nivel nacional. Esto incluye el desarrollo de técnicas que aseguren una distribución homogénea y una liberación controlada de nutrientes en el campo.

El proyecto también se enfoca en la capacidad del biochar para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero como el óxido nitroso. Esta innovación tiene un impacto a nivel internacional, contribuyendo a los esfuerzos globales para combatir el cambio climático y promoviendo prácticas agrícolas sostenibles.

La integración del biochar en proyectos de restauración de suelos degradados y en prácticas agrícolas orgánicas y sostenibles representa una innovación a nivel internacional. Este enfoque holístico no solo mejora la salud del suelo y la productividad agrícola, sino que también promueve la sostenibilidad y la resiliencia de los sistemas agrícolas.

2.3. ¿Es posible patentar el producto o tecnología desarrollado en el proyecto? En caso afirmativo señalar las diferencias más importantes existen con otras patentes.

Es posible y se plantea patentar los resultados del proyecto.

En primer lugar, se plantea patentar la novedad de la comunidad microbiana utilizada para enriquecer el biochar, ya que se selecciona un conjunto específico de microorganismos eficientes que no han sido previamente utilizados en esta combinación o aplicación. No se han localizado patentes españolas que traten el enriquecimiento de biochar a partir de microorganismos. A nivel internacional se conocen las siguientes patentes:

- [US20190210935A1 - Biochar as a microbial carrier](#)
- [CN113816807 Biochar organic fertilizer and preparation method thereof](#)
- [US10173937B2 - Biochar as a microbial carrier](#)

Estas patentes utilizan microorganismos para enriquecimiento del biochar, pero la composición de microorganismos en este proyecto no está definida ni delimitada. Se indican géneros que pueden ser incluidos, pero no reivindican la composición exacta de la comunidad microbiana. Además, en la presente propuesta se plantea utilizar cepas de organismos autóctonos por lo que en todo caso el pool microbiano será diferente al utilizado en las patentes citadas.

Además, se han localizado las siguientes patentes, que indican que el biochar incluye microorganismos, pero no indica la composición exacta. Sólo reivindican los métodos de producción o la forma de aplicación.

- [US11312666B2 - Mineral solubilizing microorganism infused biochars](#)
- [KR102356774 Organic fertilizer using biochar and microorganisms and method for producing the same](#)
- [KR1020180115541 Soil composition, soil conditioner and organic fertilizer using biochar and microorganisms and method of manufacturing the same](#)

Por otro lado, sería patentable el proceso único de añadir estos microorganismos al biochar junto con otros biomateriales, lo que podría resultar en un método novedoso con beneficios significativos para la agricultura sostenible. A este respecto, no se han encontrado patentes anteriores que combinen microorganismos de forma combinada con otros bioestimulantes basados en algas y sustancias derivadas de extractos de plantas aromáticas.

3. CAPACIDAD TECNOLÓGICA DEL CENTRO TECNOLÓGICO

3.1. Composición, capacidad y experiencia del equipo de I+D.

El equipo humano con el que ITAGRA.CT desarrolla sus proyectos de Investigación aplicada y experimentación está formado en la actualidad por 26 técnicos, más la colaboración de 25 Investigadores Permanentes de la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia de la Universidad de Valladolid y también de la Universidad de Burgos. Con este equipo multidisciplinar se generan sinergias entre el mundo del conocimiento y el empresarial, en el que el Centro además aporta su propio "know how". Del mismo modo cuenta con amplia experiencia todo lo referente a cultivos, teniendo un reconocido prestigio entre las empresas de semillas, con las que tiene una estrecha relación profesional. Las líneas de trabajo habituales del centro se enmarcan en los sectores agrario, agroalimentario, forestal, medioambiental y afines, así como en sectores ajenos que en el desarrollo de sus actividades interactúan con éstos

Con el fin de permanecer conectado en todo momento con el mundo científico y tecnológico, el equipo técnico de ITAGRA tiene contactos con diversas redes científicas y participa en las reuniones periódicas de las siguientes Plataformas Tecnológicas y de Innovación reconocidas por el MINECO: Vitartis (Asociación de la industria Alimentaria de Castilla y León, <https://www.vitartis.es/nosotros/>), FoofForLife (<https://foodforlife-spain.es/quienes-somos/>), PLANETA (plataforma de tecnologías ambientales;

http://www.conama10.conama.org/conama10/download/files/STs%202010/23165_doc_VV%E1zquez.pdf), BIOPLAT (Plataforma de la biomasa; <https://bioplat.org/>). Las Plataformas Tecnológicas y de Innovación son estructuras imprescindibles para la coordinación entre los distintos agentes públicos y privados de un determinado sector y desempeñan un papel fundamental en la identificación de tecnologías innovadoras, en el establecimiento de una colaboración público-privada fluida y de confianza mutua y en la detección de nuevas demandas de I+D+i sectoriales.

En el ámbito de la digitalización ITAGRA es socio fundador del Digital Innovation Hub on Livestock, Environment, Agriculture and Forest (DIH-LEAF) que pertenece a DIGS3 y a la red SMART AGRI HUBS. Los DIH son agrupaciones sin ánimo de lucro que se conciben como redes de apoyo capaces de catalizar la innovación digital en diferentes sectores y territorios.

Además de las redes científicas, otros Grupos de Técnicos y Científicos con los que está en contacto son: ACTA CL (Asociación de Científicos y Tecnólogos de Alimentos de Castilla y León; RUENA (Red de Uso Eficiente de Nitrógeno en Agricultura; <https://www.ruena.org/>), a nivel internacional (Red de la Comunidad Investigadora y Científica Argentina en España (RCICAE)-Argentina-España), GENVCE (Grupo para la Evaluación de Nuevas Variedades de Cultivos Extensivos en España; <https://genvce.org/>) y diferentes grupos de acción local (ADRI Cerrato palentino, ADRI Páramos y Valles palentinos, ACD Montaña Palentina)

En el ámbito de la comunicación ITAGRA es colaboradora habitual de revistas técnicas como Vida Rural o Tierras, Editorial Agrícola, además de tener una relación continua con medios generalistas como El Mundo, RTCyL, Agencia EFE Verde y Empresa Agraria, entre otras.

Itagra está reconocido como Centro Tecnológico, según el Real Decreto 2093/2008, de 19 de diciembre, por el que se regulan los Centros Tecnológicos y los Centros de Apoyo a la Innovación Tecnológica de ámbito estatal y se crea el Registro de tales Centros. Se reconoce también como Entidad de Utilidad Pública según el Real Decreto 1740/2003, de 19 de diciembre, sobre procedimientos relativos a asociaciones de utilidad pública.

El Área de I+D+i está estructurada en cuatro Unidades: Investigación y experimentación agronómica, Industria Agroalimentaria y enología, Economía circular y Medio Ambiente. Esta última engloba 3 subunidades: Medio Ambiente Agrario y Forestal, Eco-hidráulica aplicada y Fauna silvestre. Cada Unidad centra su trabajo en unas áreas técnico-científicas específicas, si bien los proyectos suelen demandar equipos multidisciplinares, lo que produce en la práctica que dos o más Unidades colaboren en los mismos, dentro de su especialidad.

Las áreas tecnológicas y científicas en las que trabajan primordialmente cada Unidad son las siguientes:

- Investigación y experimentación agronómica: Centra su trabajo principalmente en la experimentación agraria, evaluando el comportamiento de fertilizantes, variedades, fitosanitarios y diversas técnicas de cultivo y laboreo, así como el desarrollo y mejora de equipos para uso agrario (sistemas de riego, equipos de abonado y siembra, aplicaciones del ozono, etc.).
- Industria Agroalimentaria y enología: Sus actividades de I+D se centran en el desarrollo de nuevos productos alimentarios, el aumento de la vida útil de los productos y el desarrollo de técnicas que mejoren la calidad de los productos agroalimentarios. Aplicaciones de la biotecnología en la industria vitivinícola: Identificación y selección de levaduras autóctonas, identificación de variedades de vid mediante microsátélites, multiplicación in vitro y conservación de especies de interés agroalimentario.
- Economía circular: En esta Unidad los proyectos se centran fundamentalmente en la gestión de residuos orgánicos (mediante técnicas como la fitodepuración y el compostaje) y la bioenergía (principalmente la metanización).
- Medio Ambiente: Destacan el Grupo de Eco hidráulica Aplicada (GEA) y el Grupo Ferus. GEA presta asistencias científico-técnicas especializadas, en el campo de los recursos hídricos, aprovechamientos piscícolas y sus ecosistemas asociados (escalas para peces, caudales ecológicos, restauración de ríos, simulación hidráulica, desarrollo de software, cursos de formación, etc.). Ferus es un grupo de investigación que ofrece servicios técnicos y científicos especializados en fauna silvestre. Pretende materializar una transferencia de conocimiento

científico-práctico entre la comunidad científica y la sociedad en relación con las demandas y problemáticas asociadas a la conservación y gestión de fauna silvestre.

Los proyectos más relevantes en los que ITAGRA.CT participa actualmente o ha participado recientemente relacionado con la temática del proyecto son los siguientes:

- GO LEG SAPIENS: "GENERANDO OPORTUNIDADES: Sistemas de cultivo innovadores basados en leguminosas grano" 2021-2023.
- GO REGIONAL: "CONTROL DE ADVENTICIAS EN EL CULTIVO DE LEGUMBRES ECOLÓGICAS EN CASTILLA Y LEÓN" 2018-2020.
- Proyecto H2020 SolACE. Solutions for improving Agroecosystem and Crop Efficiency for water and nutrient use. 2018-2021.
- Proyecto Interreg SUDOE "Gestión integrada e inteligente de bosques complejos y plantaciones mixtas del SUDOE ""COMFOR-SUDOE"" "SOE4/P1/E1012"" 2020-2023.
- PROYECTO INTERCONECTA "Valoración y conversión de azufre elemental en fertilizante de alto rendimiento (ESFER)", para Repsol Lubricantes y Especialidades, SA 2012 – 2024.
- CIBENA "Mejora de la cadena de valor en la producción de Superalimentos" (Programa CIEN CDTI), para Huercasa 5ª Gama SA. 2016 – 2019.
- "AGROMINA: EVALUACIÓN DE ENMIENDAS AGRONÓMICAS OBTENIDAS DEL CARBÓN MINERAL". 2019-2020.
- FITO3. Investigación sobre los efectos de la aplicación de ozono en el ecosistema agrario (suelo, planta, agua).2019-2021.
- CIRVEPAM. Caracterización Integral de Recursos Vegetales Endógenos como cultivos de Plantas Aromáticas y Medicinales. 2021-2022.
- MALUBA. Nuevos enfoques agroindustriales para las materias primas y subproductos de la industria de la cerveza: Malta, Lúpulo y Bagazo. 2020-2023
- MEATING PLANTS. Integración de tecnologías para el desarrollo de productos a base de proteínas vegetales autóctonas con textura análoga a cárnicos. 2020-2023
- PURINALIS. Evaluación en origen y destino de diferentes técnicas y modelos de economía circular para la gestión del purín de cerdo. 2023-2024.
- Proyecto PHOS4CYCLE (S1/2.7/E0044): Proyecto Interreg SUDOE liderado por Itagra para la "Monitorización de fosfatos en actividades agroganaderas para el uso sostenible del suelo y el agua". 2024-2026.
- Proyecto AROCA. Estudio de la adaptabilidad y viabilidad de Cultivos Aromáticos en la zona de Caleruega, para Cooperativa del Campo La Burgalesa.
- Proyecto VERTEC. Valorización energética de residuos y subproductos del Grupo Tecnipec, para Agro-Tecnipec, S.L.
- Proyecto VALORIZA. Diseño y desarrollo de protocolo para optimización del proceso de compostaje, para Valorizaciones Dueñas, S.L.
- Proyecto GAD-EX. Acciones de mejora de la biodiversidad a través de la ganadería extensiva en el Geoparque Unesco Las Loras en Castilla y León, financiado por la Fundación Biodiversidad.

3.2. Medios materiales e instalaciones de I+D

Las instalaciones de ITAGRA.CT se dividen en:

- Unidad de experimentación en campo abierto en régimen de regadío. 9 hectáreas en Grijota (Palencia), y unidades de suelo preparadas para cultivo en secano por todas las provincias de Castilla y León. Cultivos extensivos, intensivos y plantaciones (almendros, pistachos, avellanos, olivos, viñedo, plantas aromáticas y medicinales). Sobre esta superficie se desarrolla la unidad de cultivos extensivos con fines de adaptar los cultivos de frutos secos y rojos a condiciones semiáridas de Castilla y León.



También se tienen contratos plurianuales de arriendo de parcelas de secano y regadío: más de 30 hectáreas. Itagra es socio/colaborador de GENVE (Grupo para la Evaluación de Nuevas Variedades de Cultivos Extensivos en España) para la realización de los ensayos de las redes de experimentación de variedades, de la Oficina Española de Variedades Vegetales (OEVV) del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) y de empresas del sector privado

- Laboratorio agrario. Tareas de análisis de suelos, foliares, parámetros enológicos (vinos, aguardientes, control de maduración de uvas), aguas, fertilizantes, microbiología, semillas, piensos, compost y adaptación de la metodología de análisis.

- Unidad de industria alimentaria. Se dispone de contratos de experimentación con industrias vinícolas y cerveceras que prestan sus instalaciones para el desarrollo propio de i+D de ITAGRA. Paralelamente en las instalaciones propias se dispone de los medios para el desarrollo de los análisis de micotoxinas, parámetros de evolución de la vinificación y microbiológicos en general.



- Unidad de cultivos forzados. En el año 2020-2021 se ha realizado la inversión en un invernadero de 140m² y anejo al mismo una cámara climática transitable, con unos espacios reservados para las labores de desarrollo de mejora vegetal y multiplicación, que en la presente solicitud se van a completar en equipamiento para dotarlo con los últimos medios.

Equipos o instrumentos que dispone:

- Maquinaria específica: sembradora ensayos mono-grano neumática, sembradora ensayos semillas pequeñas, y cosechadoras de campos de ensayo con diferentes cabezales para cereales, maíz, colza con sistema de pesaje y medición de humedad y peso específico, motocultor, desbrozadoras, pulverizador de aplicación de fitosanitarios para ensayos a presión constante, muestreador de suelos, vehículos y camión de dos ejes.

- Equipos de medida específicos en campo: medidor portátil MULTIPLEX, medidor de conductividad estomática, báscula electrónica portátil, Tablet-GPS submétrico para toma datos en campo. Sistema de muestreo rizosféricos. Sondas de humedad capacitivas para suelo. Penetrómetro, lisímetros. Sonda de radiación PAR, N-Tester, medidor SPAD.

- En laboratorio: Espectrómetro de emisión de plasma óptico acoplado inductivamente ICP-OES, espectrofotómetro de absorción atómica, digestor y destilador de N, valorador automático, básculas de precisión, estufas de laboratorio, desecadores, centrifugas, pH-metro, conductímetro, espectrofotómetro ultravioleta visible, colorímetro, densímetro, texturómetro, cámara de germinación, autoclave. Cámara de cultivo microbiológica, medios de cultivo específicos. Generador de ozono portátil de 3gr/min, provisto de depósito de 100L y sistema de refrigeración de agua ozonificada. Recientemente se ha adquirido un equipo de digestión a través de microondas, una centrifuga multi-rotor refrigerada, un rotovapor de vidrio, un minireactor controlado de hidrólisis enzimática, equipo de análisis FTIR, un nefelómetro.



- Cámara climática transitable de 23m³, con control de temperatura, humedad, e iluminación. Que permite realizar cultivos in-vitro y emular condiciones extremas en los cultivos.

3.3. Patentes y modelos de utilidad a nombre de la entidad solicitante

Itagra CT no cuenta con ninguna patente o modelo de utilidad en la actualidad

3.4. Proyectos de I+D de la entidad solicitante en los últimos tres años.

AÑO INICIO/FIN	TÍTULO DEL PROYECTO	PRESUPUESTO O TOTAL DEL PROYECTO (€)	PRESUPUESTO DE LA ENTIDAD SOLICITANTE EN EL PROYECTO (€)	FINANCIACIÓN	PRIORIDAD TEMÁTICA (RIS3) (2)					
					1	2	3	4	5	
2019-2021	Fito3. Investigación sobre los efectos de la aplicación de ozono en el ecosistema agrario (suelo, planta, agua)	213.517,78 €	213.517,78 €	Instituto para la Competitividad Empresarial de Castilla y León.	X					
2019-2020	Agromina. Evaluación de enmiendas agronómicas obtenidas del carbón mineral	426.747,26 €	426.747,26 €	Consejería Economía y Hacienda. Junta Castilla y León	X				X	
2019-2021	OptimizAROMÁTICA. Optimización agronómica y de proceso de destilación de plantas aromáticas	84.840 €	84.840 €	PALENTINA de AROMÁTICAS, S.Coop.	X				X	
2019-2021	Optimización en la distribución de abonos orgánicos semi-líquidos.	177.625,80 €	177.625,80 €	Comercial Agrícola Castellana SA	X					
2020-2023	CIRVEPAM. Caracterización Integral de Recursos Vegetales Endógenos como cultivos de Plantas Aromáticas y Medicinales CCTT3/20/PA/0001	305.954,60€	280.142,81€	Instituto Para La Competitividad Empresarial. JCyL	X					

2020-2023	MALUBA. Nuevos enfoques agroindustriales para las materias primas y subproductos de la industria de la cerveza: Malta, Lúpulo y Bagazo. CCTT4/20/PA/0002	227976,90€	204668,60€	Instituto Para La Competitividad Empresarial. JCyL	X				
2020-2023	Evaluación de carbón mineral como enmienda agrícola	126.500€	126.500€	EMPRESA	X			X	
2021-2023	LegSapiens. Generando Oportunidades: Sistemas de cultivo innovadores basados en las leguminosas grano	559.562,74 €	76.319,02€	80% por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) y al 20% por fondos de la Administración General del Estado.	X	X	X	X	
2019- 2021	CARceres: Valoración técnica y económica de la implantación de un sistema de procesado de cereales para la fabricación de harina de grano entero y copos.	148.680 €	148.680 €	Cooperativa Agrícola Regional	X				
2019- 2023	LIFE DIVAQUA "Improving Aquatic Diversity in Picos de Europa"	2.361.506 €	254.815 €	Convocatoria LIFE Nature and Biodiversity Projects. 2018				X	
2020-2023	Integración de tecnologías para el desarrollo de productos a base de proteínas vegetales autóctonas con textura análoga a cárnicos. CCTT4/20/PA/0001	484.940€	478.502€	Instituto para la Competitividad Empresarial de Castilla y León.	X			X	
2020-2023	COMFOR-SUDOE. Gestión integrada e inteligente de bosques complejos y plantaciones mixtas del SUDOE	1.718.948,77€	102.256€	Interreg-Sudoe	X	X	X	X	
2017-2022	H2020 SolACE. Solutions for improving Agroecosystem and Crop Efficiency for water and nutrient use.	5.825.650€	42.033€	Horizon 2020, European Union and Swiss State Secretariat for Education, Research and Innovation (SERI)	X			X	
2024-2026	PHOS4CYCLE: Monitorización de fosfatos en actividades agroganaderas para el uso sostenible del suelo y el agua.	1.929.374€	448.428,88€	Interreg-Sudoe	X	X	X	X	

4. PRESUPUESTO DE LA ENTIDAD SOLICITANTE

4.1. Colaboraciones Externas

Para cada entidad subcontratada, describir detalladamente las tareas a realizar en el proyecto y el presupuesto previsto de la subcontratación. Así mismo describir la capacidad que tiene cada entidad para poder asumir las tareas previstas en cuanto a experiencia previa, personal, instalaciones, equipamiento, etc.

Entidad	Actividades a realizar	Presupuesto
Empresa tecnológica algal turf scrubber	Desarrollo de módulo de cultivo de algas filamentosas, aislamiento de consorcio algal para utilizar en las pruebas. Inoculación y puesta en régimen continuo de crecimiento. Tarea 12	5.800€
Empresa tecnológica especializada en producción de materiales carbonosos	Desarrollo y ejecución del proceso para la obtención del material rico en carbono por procesos de pirólisis, con el apoyo del personal de ITAGRA en el diseño del proceso. Tarea 5 y 6	12.500€
Empresa tecnológica para la determinación de parámetros funcionales en materia bioactiva	Mediante el uso de técnicas no destructivas, se desarrollará la evaluación del efecto en materia bioactiva de los cultivos ensayados, de parámetros diferenciales (NDVI, N-tester, SPAD, Fluorometría, etc. Tarea 17	6.500€
Laboratorio tecnológico de análisis avanzado	Determinación de HAP, tamaño de poro, área superficial y morfología por SEM y TEM del biochar y las muestras enriquecidas en los laboratorios de Itagra. Actividad 2 y 4	3.200€
Equipo especializado en cámaras de presión	Configuración y uso seguro de cámara de presión de acero inoxidable para ensayar la absorción/adsorción de soluciones fertilizantes en las matrices carbonosas, con el apoyo del personal de ITAGRA en el diseño experimental. Tarea 13	1.500€

Descripción de las actividades y la capacidad de los colaboradores externos

Producción de biomasa algal. Esta empresa deberá tener experiencia en cultivo de algas filamentosas y disponer de un sistema de cultivo que permita evaluar diferentes tratamientos en el proyecto. La empresa de encargará de facilitar el consorcio de algas filamentosas más adecuado al medio. Para ello deberá realizar un screening de que especies de algas son las que mejor adaptadas están en el entorno del ensayo, además de estar en el entorno de las explotaciones ganaderas. Sobre este screening se realizará un cultivo en sapor solido de cultivo, para ponerlo a disposición del equipo de Itagra para que realicen las pruebas comprendidas en la Tarea 12.

Procesos pirolíticos. Empresa dedicada a la valorización de Residuos agroindustriales, para la obtención de materiales ricos en carbono, eco-combustible, entre otros, que centre su actividad en la obtención de productos de alto valor, mediante el tratamiento térmico o pirólisis, dentro de las Tareas 5 y 6.

Análisis avanzados: **NDVI, N-tester, SPAD, Fluorometría.** Entidad que tenga los equipos mencionados para la realización de los análisis necesarios. No se dispone de estos equipos en ITAGRA, para la Tarea 17.

Laboratorio tecnológico para análisis avanzados. Este laboratorio contará con las capacidades tecnológicas necesarias, que incluyan la determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), análisis del tamaño de poro, área superficial y estudio de la morfología mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y microscopía electrónica de transmisión (TEM). Técnicas que permitirán obtener una comprensión detallada de las propiedades fisicoquímicas y estructurales del biochar.

Laboratorio con tecnología en cámaras de presión. Para ensayar la absorción/adsorción de soluciones fertilizantes en las matrices carbonosas, capaces de evaluar la presión hasta 10 atmósferas.

4.2. Materias primas, suministros y productos similares

Descripción de cada una de las partidas incluidas en el presupuesto, indicando las razones de la necesidad de su adquisición y justificando cantidades aproximadas necesitadas. Indicar el destino final previsto del prototipo y/o producto producido en base a estos suministros en el marco del proyecto (por ejemplo, a gestión de residuos, almacenamiento en instalaciones de la empresa, etc.)

Partida	Descripción	Presupuesto	Destino final
1. Macetas	Macetas de 10 y 5 litros	5.000€	Punto limpio
2. Medios de cultivo	Material para ensayos in vitro (cajas Petri, pipetas, puntas) Soluciones y reactivos para medio de cultivo para cultivo in-vitro.	9.000€	Consumible
3. Fertilizantes	Fertilizantes NPK para enriquecimiento (Tarea 13) y para ensayos en maceta (Tarea 16 y 17)	580€	Consumible
4. Riego	Tuberías de riego, goteros y valvulería para riego en cámara climática (Actividad 5)	2.500€	Punto limpio
5. Bioestimulantes	Material vegetal, para extracción de aceites e hidrolatos. Plantas aromáticas endógenas. Reactivos y material de laboratorio para su obtención.	6.000€	Consumible
6. Sondas pH y humedad	Sondas necesarias para la evaluación del pH y la humedad de los ensayos para las tareas 16 y 17.	1.250€	Punto limpio
7. Análisis de suelo y materia vegetal	Reactivos y material necesarios para análisis vegetales y de suelos	13.750€	Consumible
8. Sustratos inertes	Turba para cultivo de ensayo.	1.200€	Consumible

9. Rizhon sampler	Material necesario para el muestreo de lixiviados en macetas.	5.000€	Punto limpio
10. Material vegetal	Semillas de calidad certificada, alveolos, sustrato de cultivo... para la producción de plantón de la tarea 17.	1.350€	Consumible y punto limpio

Justificación de las cantidades empleadas

1. Macetas de ensayo: para la actividad 5. Tareas 16 y 17, serán necesarias macetas de 5 y 10 litros: Serán necesarias 100 macetas para cada volumen, con un importe estimado total de 5.000€

2. Medios de cultivo: Material para ensayos (cajas Petri, pipetas, puntas) y soluciones de medio de cultivo para cultivo in-vitro. Se estiman un total de 120 análisis con un coste de 75€/ud. Total 9.000€.

3. Fertilizantes: Se estiman necesarios para la actividad 4. Tarea 13 y para la actividad 5 Tareas 16 y 17 un total de 800 kg de fertilizantes complejos para el aporte de macro y micro nutrientes. Total 580€.

4. Riego: Instalación de riego por goteo para la actividad 5 en cámara climática y/o invernadero. Líneas gotero 2 l/hora, válvulas y programador. Total 2.500€

5. Bioestimulantes: Se necesitarán plantas aromáticas endógenas con compuestos activos ya testados. Partida estimada en 3.500€.

Reactivos para la obtención, a partir de las plantas endógenas, aceites e hidrolatos por extracción de vapor y solventes orgánicos. Partida estimada en 2.500€

Total para obtención de bioestimulantes 6.000€

6. Sondas pH y humedad: Serán necesarias 50 sondas desechables para las tareas 16 y 17 (25 para cada una de las tareas). 25€/ud x 50 sondas. Total 1.250€

7. Análisis de suelos y materia vegetal: Se estiman un total de 250 analíticas para la actividad 5, tareas 16 y 17. 250 analíticas a 55€/analítica. Total 13.750€

8. Sustratos inertes: Para la actividad 5, tarea 17, se estima necesario un volumen de 1.000 litros de sustrato, (10l/maceta x 100 macetas) a 1,20€/litro, 1.200€.

9. Rizhon sampler: Para la actividad 5, tareas 16 y 17 se necesitarán 200 Rizhon Sampler (100 para cada tarea). El coste unitario es de 25€. 200 uds x 25€/ud. Total 5.000€

10. Material vegetal: Para la producción de las especies que se ensayarán en la Actividad 5, tarea 17, serán necesarias producir un mínimo de 150 plantas por especie (3 especies). El coste por planta se estima en 3€/plantón (incluye, medio de cultivo, semillas certificadas etc .) .3€/plantón x 450 plantones. Total 1.350€

4.3. Gastos de Personal

Nombre y apellidos	Titulación	Experiencia (1)	Centro de trabajo	Categoría profesional (2)	Grupo cotización	Coste euros/hora (3)	Nº horas totales	% dedicación al proyecto	Presupuesto total (euros)
RAQUEL HERRERO MATESANZ	Ing. Técnico Agrícola	20	ITAGRA.CT	Director Técnico	2 Personal Cualificado	25,19	600	11,16%	15.114,00
M ^a VIRGINIA OZCARIZ FERMOSELLE	Doctora en Ingeniería para el Desarrollo Agroforestal	8	ITAGRA.CT	Técnico Senior	2 Personal Cualificado	23,15	1660	30,88%	38.429,00
SUSANA LUIS DEL RÍO	Licenciada en Biología	17	ITAGRA.CT	Técnico Senior	2 Personal Cualificado	23,22	700	13,02%	16.254,00
VÍCTOR ROMERO DIEZ	Graduado en Ing. Agrícola y Máster Ing. Agronómica	6	ITAGRA.CT	Técnico Senior	2 Personal Cualificado	25,08	550	10,23%	13.794,00
JULIO MARTÍN MARGÜELLO	Ingeniero Agrónomo	20	ITAGRA.CT	Técnico Senior	2 Personal Cualificado	24,58	800	22,89%	19.664,00
MARTA SÁNCHEZ MARTÍN	Licenciada en Ciencias Químicas	22	ITAGRA.CT	Técnico Senior	2 Personal Cualificado	25,35	630	11,72%	15.970,50
M ^a ROSA IBÁÑEZ DE PRADO	Ingeniero Agrónomo	17	ITAGRA.CT	Técnico Senior	2 Personal Cualificado	21,12	520	9,67%	10.982,40
JUAN CHANA SECO	Técnico Superior en Gestión de	10	ITAGRA.CT	Personal Auxiliar	7 Auxiliar Laboratorio	18,85	750	13,95%	14.137,50
NUEVA CONTRATACIÓN	Titulado medio o superior		ITAGRA.CT	Por definir	2 Personal Cualificado	18	4600	100,00%	82.800,00
TOTAL							10.810		227.145,40

(1) Experiencia: Indicar los años de experiencia con la titulación especificada en la casilla de titulación.

(2) Categoría: Seleccionar entre: Director Técnico, Técnico senior, Técnico medio, Técnico junior, Técnico especialista o Personal Auxiliar

(3) Coste euros/hora: Retribución bruta anual más Seguridad Social a cargo de la empresa, dividido entre el número de horas anuales.

Nota: En el caso de tener previsto la contratación de un Tecnólogo para la realización del proyecto, debe quedar reflejado como "Nueva contratación"



4.5. Gastos Generales

Para cada concepto, describir su necesidad para el proyecto. Realizar el cálculo del % a aplicar a cada concepto incluido en gastos generales, para la obtención del presupuesto asociado.

Descripción	Coste global en la entidad	Presupuesto proyecto
Alquiler de espacios (oficina y laboratorio)	14.000 €	1.400 €
Programa de gestión contable	9.000 €	900 €
Programa correo electrónico	6.500 €	650 €
Seguro de Responsabilidad civil	6.900 €	690 €
Asesoría administrativa (fiscal y laboral)	21.000 €	2.100 €
Gastos de Telefonía	3.000 €	300 €
TOTAL		6.040 €

Coste total de personal	Coste personal proyecto	%
2.250.000 €	227.145,40	10%

El límite de gastos imputados en Gastos generales no podrá superar el 20% del gasto total del proyecto

4.6. Proyecto en Colaboración Efectiva

Indicar el presupuesto total del proyecto por cada entidad participante:

PRESUPUESTO PROYECTO EN COLABORACIÓN	TOTAL	%
ITAGRA.CT (líder)	308.315,40	67,25
BIOTECNOLOGÍA FORESTAL APLICADA. S.L.(IDFOREST)	150.148,00	32,75
TOTAL	458.463,40	

Justificación de los presupuestos de cada socio

El presupuesto asignado a ITAGRA C.T. en este proyecto se destinará a una serie de actividades cruciales para la obtención y optimización del biochar y su integración con biomateriales, con el objetivo de mejorar la productividad agrícola y la sostenibilidad ambiental. ITAGRA C.T. liderará la elaboración del mapa de generación de residuos ricos en carbono en Castilla y León, lo que incluye la consulta bibliográfica para identificar los residuos agroindustriales relevantes, así como la utilización de sistemas de información geográfica (SIG) para la generación y gestión del mapa. Esta actividad es fundamental para identificar las fuentes potenciales de biochar y optimizar su producción, asegurando un recurso valioso para el proyecto.

En la obtención de biochar, ITAGRA C.T. se encargará de seleccionar los residuos adecuados, diseñar el proceso de transformación y llevar a cabo la producción de biochar. Estas tareas son esenciales para desarrollar un biochar que cumpla con las características necesarias para mejorar la calidad del suelo y contribuir a la sostenibilidad agrícola. Además, ITAGRA C.T. será responsable



del enriquecimiento del biochar con fertilizantes minerales y bioestimulantes, y de realizar las pruebas físico-químicas necesarias para evaluar la calidad del biochar enriquecido, garantizando su efectividad en la mejora del suelo y los cultivos.

Por su parte, ID Forest liderará la obtención y reproducción de microorganismos beneficiosos, realizando la búsqueda de cepas, pruebas de crecimiento y compatibilidad, y la formulación de un pool de microorganismos que serán inoculados en el biochar. Esta labor es crucial para maximizar los beneficios del biochar mediante la incorporación de microorganismos que potencien la salud del suelo y la productividad de los cultivos.

La colaboración entre ITAGRA C.T. e ID Forest permitirá realizar una evaluación agronómica exhaustiva en ambientes controlados, con pruebas en suelo y ensayos in vitro e in vivo para determinar la efectividad de los tratamientos aplicados. Estas pruebas proporcionarán datos precisos sobre el impacto de los biochar enriquecidos en la retención de agua, el pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes, facilitando la optimización de las prácticas agrícolas basadas en los resultados obtenidos.

En conjunto, el presupuesto asignado cubrirá la ejecución de todas estas actividades, asegurando la coordinación eficaz entre ITAGRA C.T. e ID Forest y la implementación exitosa de las innovaciones propuestas. La integración de estas tareas permitirá avanzar significativamente en la investigación y desarrollo de biochar, promoviendo mejoras sustanciales en la agricultura y el manejo de residuos.

5. EQUIPO TÉCNICO Y GERENCIAL

Composición del equipo técnico de la entidad solicitante responsable del proyecto, aportando un curriculum vitae de sus integrantes. Se sugiere que los CV contengan nombre y apellidos, edad, titulación si la hubiere, otros cursos de formación, idiomas, entidades en las que ha trabajado y función cumplida en ellas (incluida su función actual en la entidad solicitante).

- Raquel Herrero Matesanz. Ingeniera Agrícola. Director Técnico del proyecto.
- María Virginia Ozcariz Fermoselle. Doctora en Ingeniería en Desarrollo Agroforestal
- Susana Luis del Río. Licenciada en Biología.
- Víctor Romero Diez. Grado en Ingeniería Agrícola y del Medio Rural, y Máster en Ingeniería Agronómica
- Julio Martín Margüello. Ingeniero Agrónomo.
- Marta Sánchez Martín. Licenciada en Ciencias Químicas.
- M^a Rosa Ibáñez de Prado. Ingeniero Agrónomo.
- Juan Chana Seco. Técnico Superior en Gestión de Empresas Agropecuarias.
- NUEVA CONTRATACIÓN. Por definir. Ingeniero agrícola/agrónomo/forestal/biotecnología

6. TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

6.1. Posibles aplicaciones industriales de los resultados del proyecto. Sectores a los que van dirigidos.

Los resultados del proyecto presentan numerosas aplicaciones industriales que benefician a múltiples sectores interconectados.

En la agricultura y horticultura, el biochar enriquecido mejora la fertilidad del suelo y la salud de los cultivos, directamente beneficiando a los agricultores y horticultores. Este avance se complementa con la agroindustria, donde el biochar ayuda en la gestión de residuos agrícolas, apoyando a las empresas procesadoras de alimentos en la sostenibilidad de sus operaciones.

En el sector forestal y la gestión de residuos, la pirolisis de residuos forestales para producir biochar no solo contribuye a la gestión sostenible de la biomasa, sino que también enlaza con la industria energética y medioambiental, donde la captura y almacenamiento de carbono ayudan a reducir las emisiones de CO₂ de las plantas industriales.

La biotecnología juega un papel crucial al incorporar microorganismos al biochar, creando bioinoculantes que benefician tanto a la agricultura como a las empresas biotecnológicas.

En el ámbito de la infraestructura verde, el biochar se utiliza para mejorar la calidad del suelo en áreas urbanas y proyectos de restauración ecológica, apoyando a empresas de construcción y gobiernos municipales en sus iniciativas ambientales.

Finalmente, en la industria alimentaria, el uso del biochar en la agricultura mejora la calidad y el rendimiento de los cultivos, lo que repercute positivamente en productores y distribuidores de alimentos.

Estas aplicaciones demuestran el potencial del proyecto para crear sinergias entre sectores, promoviendo la sostenibilidad, la innovación y la eficiencia en el uso de recursos.

6.2. Principales barreras de entrada en dichos sectores y factores de éxito.

La introducción de innovaciones tecnológicas, como el biochar enriquecido, enfrenta diversas barreras de entrada en los sectores agrícolas, agroindustriales, forestales, energéticos,



medioambientales, biotecnológicos, de infraestructura verde y alimentarios, aunque existen factores clave que pueden facilitar el éxito de estas innovaciones de manera interconectada. En el sector agrícola, las barreras incluyen la resistencia al cambio por parte de los agricultores y los costos iniciales de implementación, mientras que el éxito puede lograrse mediante la demostración de beneficios tangibles a través de ensayos agronómicos y programas de capacitación. Estos beneficios pueden extenderse a la agroindustria, donde los desafíos incluyen la adaptación de procesos existentes, pero la colaboración con instituciones de investigación puede optimizar procesos y mejorar la sostenibilidad y eficiencia de la producción.

En el sector forestal, los desafíos logísticos y de transporte de residuos forestales pueden ser superados mediante el desarrollo de cadenas de suministro eficientes, lo que a su vez beneficia a la industria energética y medioambiental al alinearse con políticas de captura y almacenamiento de carbono. En el ámbito biotecnológico, la innovación continua y la colaboración para identificar e incorporar microorganismos adecuados en el biochar son esenciales, lo cual también fortalece las soluciones para la infraestructura verde mediante la demostración de beneficios ambientales y económicos en proyectos urbanos.

Finalmente, en la industria alimentaria, la adopción de nuevas prácticas agrícolas y la percepción del consumidor son barreras que pueden ser superadas mediante campañas de sensibilización y la demostración de mejoras en la calidad y sostenibilidad de los productos.

Superar estas barreras de manera integrada, a través de estrategias de educación, demostración de beneficios, colaboración con organismos reguladores y políticas de incentivos, permitiría la adopción y el éxito de estas innovaciones tecnológicas en los distintos sectores industriales, fomentando una economía circular y sostenible.

6.3. Posibilidad de utilización y grado de transferencia de los resultados del proyecto al tejido industrial de Castilla y León. Orientación a la demanda tecnológica. Grado de industrialización de los resultados

Castilla y León, con su fuerte base en sectores agrario y agroindustrial, presenta un entorno propicio para la adopción de innovaciones como el biochar enriquecido. La demanda tecnológica en la región está orientada hacia soluciones sostenibles que mejoren la productividad agrícola, reduzcan el impacto ambiental y promuevan la economía circular.

El grado de transferencia de los resultados del proyecto es significativo, ya que el biochar y sus aplicaciones tienen el potencial de integrarse fácilmente en prácticas agrícolas y agroindustriales existentes. El biochar enriquecido puede ser utilizado directamente por agricultores para mejorar la fertilidad del suelo y la retención de agua, mientras que las empresas agroindustriales pueden incorporar estos productos para optimizar procesos de gestión de residuos y fertilización. La transferencia se facilitará mediante la colaboración con entidades locales, programas de capacitación y demostración, y la existencia de infraestructura tecnológica y de investigación en la región.

El grado de industrialización de los resultados del proyecto es elevado. La producción de biochar puede escalarse desde operaciones piloto a plantas de producción a gran escala, utilizando tecnologías avanzadas de pirólisis y biotecnología para garantizar la consistencia y calidad del producto. El desarrollo de biochar enriquecido con microorganismos y nutrientes específicos permite crear productos personalizados que atienden a las necesidades específicas de diferentes cultivos y condiciones de suelo. Esta personalización aumenta la demanda tecnológica y asegura una mayor adopción por parte del sector industrial.

Si bien la escala de madurez tecnológica del proyecto actual del biochar abarca desde el TRL1 hasta el TRL5, donde se llevarán a cabo pruebas y validaciones del biochar en condiciones controladas como laboratorios y cámaras climáticas, los resultados obtenidos tienen el potencial de captar el interés directo de los usuarios finales y beneficiarios del sector agrícola. Con el propósito de facilitar la transferencia efectiva de estos resultados al tejido agroindustrial, se llevarán a cabo talleres específicos de transferencia de conocimiento. Estos eventos incluirán demostraciones prácticas de la aplicación del biochar en diversas aplicaciones agrícolas, permitiendo a horticultores, agricultores, y otros profesionales relacionados, observar directamente

los beneficios del uso del biochar en comparación con métodos tradicionales. Esta estrategia no solo generará un interés inicial significativo, sino que también promoverá la adopción y la integración exitosa del biochar en prácticas agrícolas sostenibles y rentables.

7. IMPLICACIONES MEDIOAMBIENTALES

Descripción de las implicaciones medioambientales del proyecto. **Contribución a alguno de los objetivos medioambientales que se establecen en los artículos 10 al 16 del Reglamento de taxonomía (Anexo III de la convocatoria).**

A continuación, se presenta un desglose de las actividades que ofrecen una contribución significativa a cada uno de los objetivos medioambientales.

Art.	Objetivo al que se dirige el artículo	Contribución
10	Mitigación del cambio climático	El proyecto desempeña un papel crucial en la mitigación del cambio climático al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. El biochar, al ser incorporado en el suelo, actúa como un filtro natural que puede reducir las emisiones de N ₂ O. Este gas, aunque menos común que el dióxido de carbono (CO ₂) y el metano (CH ₄), es significativamente más potente en términos de efecto invernadero. La aplicación de biochar en suelos agrícolas puede reducir la producción y liberación de N ₂ O al mejorar las condiciones del suelo y la eficiencia del uso de nutrientes. Esto se logra principalmente al reducir la lixiviación de nitrógeno, uno de los principales precursores del óxido nitroso, y al aumentar la capacidad de retención de nutrientes en el suelo. Actúa como un sumidero de carbono efectivo debido a su estabilidad y capacidad para evitar la liberación de CO ₂ . Además, al promover prácticas agrícolas más sostenibles y reducir la dependencia de fertilizantes químicos, el proyecto contribuye indirectamente a la reducción de las emisiones de óxido nitroso asociadas con la agricultura intensiva.
11	Adaptación al cambio climático	La mejora de la estructura del suelo mediante el uso de biochar, aumenta la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes, lo que es crucial para la adaptación al cambio climático. Esto ayuda a las plantas a resistir mejor las condiciones climáticas extremas como sequías o inundaciones, contribuyendo así a la adaptabilidad de los sistemas agrícolas frente a eventos climáticos adversos.

12	Protección de los recursos hídricos y marinos	<p>El uso de biochar en el suelo mejora la calidad del agua al reducir la lixiviación de nutrientes y contaminantes hacia los cuerpos de agua. Esto protege los recursos hídricos al disminuir la contaminación y mejorar la filtración del agua en el suelo, contribuyendo a la conservación de los ecosistemas acuáticos.</p> <p>El uso de microorganismos para enriquecer el biochar disminuye la necesidad de emplear fertilizantes químicos, reduciendo la escorrentía de estos hacia cuerpos de agua.</p>
13	Transición a la economía circular	<p>El proyecto promueve la economía circular al convertir residuos orgánicos en biochar, un producto valioso que se utiliza como enmienda del suelo y materia prima para otros usos industriales. Esto reduce la dependencia de recursos naturales y minimiza la generación de residuos, cerrando así ciclos de materiales y promoviendo prácticas más sostenibles en la gestión de recursos.</p>
14	Control y prevención de la contaminación	<p>Al utilizar biochar en la agricultura, el proyecto ayuda a controlar y prevenir la contaminación del suelo y las aguas subterráneas al reducir la liberación de nutrientes y productos químicos agrícolas. Además, el biochar puede ser utilizado en la remediación de suelos contaminados, actuando como una barrera para metales pesados y otros contaminantes</p>
15	Protección y restauración de la biodiversidad y los ecosistemas	<p>El proyecto contribuye a la protección y restauración de la biodiversidad al mejorar la salud del suelo y promover prácticas agrícolas sostenibles. Un suelo saludable y bien estructurado favorece el desarrollo de comunidades microbianas beneficiosas y la biodiversidad subterránea, esencial para la salud de los ecosistemas terrestres.</p> <p>La adición de microorganismos beneficiosos al biochar, favorecerá esta biodiversidad edáfica y permitirá un mejor establecimiento de las comunidades vegetales.</p>
16	Actividades facilitadoras	<p>El proyecto actúa como facilitador al promover la innovación tecnológica y la investigación en el campo del biochar y los microorganismos asociados. Además, facilita la adopción de prácticas agrícolas más sostenibles al ofrecer soluciones que mejoran la productividad agrícola y reducen el impacto ambiental, sirviendo de ejemplo y fuente de</p>



Cofinanciado por la Unión Europea



MINISTERIO DE HACIENDA Y FUNCIÓN PÚBLICA



Fondos Europeos

competitividad empresarial



Junta de Castilla y León



		conocimiento para otros proyectos y sectores industriales
--	--	---

8. OTROS ASPECTOS DE INTERÉS

N/A

En representación de la entidad CENTRO TECNOLÓGICO AGRARIO Y AGROALIMENTARIO (ITAGRA.CT), D. ASIER SAIZ ROJO con DNI 72575809E, en concepto de Director, declara ante el Instituto de Competitividad Empresarial de Castilla y León, que los datos reflejados en la Memoria Técnica son verdaderos y que NO se han iniciado las actividades que se recogen en el presente documento.

En Palencia, a 29 de agosto de 2024