



# EVALUACIÓN DE ENMIENDAS AGRONÓMICAS OBTENIDAS DEL CARBÓN MINERAL

REALIZADO POR:

Centro Tecnológico Agroalimentario – ITAGRA.ct –



Redacción: 14/09/2020

Revisión: 03

<b>1. ANTECEDENTES.....</b>	<b>1</b>
1.1. Carbón mineral en Castilla y León .....	1
1.2. Carbón mineral vs. biochar .....	1
1.3. Experiencias previas de carbón en agricultura .....	1
<b>2. METODOLOGÍA.....</b>	<b>2</b>
2.1. Identificación de explotaciones mineras y escombreras .....	2
2.2. Procesado de carbón .....	2
2.3. Tratamientos.....	3
2.4. Ubicación de ensayos .....	3
2.5. Cultivos .....	4
2.6. Aplicaciones en cultivos.....	4
2.6.1. Cereal .....	4
2.6.2. Colza.....	5
2.6.3. Garbanzo.....	5
2.6.4. Plantas aromáticas y medicinales .....	6
2.7. Determinaciones.....	6
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>7</b>
3.1. Caracterización fisicoquímica del carbón .....	7
3.2. pH.....	8
3.3. Capacidad de intercambio catiónico.....	11
3.4. Fósforo asimilable .....	12
3.5. Nitrógeno.....	13
3.6. Producción biomasa .....	14
3.7. Germinación.....	15
3.8. Germinación. Mezcla de suelo y carbón.....	15
3.9. Efecto en la nascencia del cultivo.....	16
3.10. Granulometría .....	17
3.11. Aplicación con maquinaria de abonado.....	19
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>20</b>
<b>6. REFERENCIAS.....</b>	<b>21</b>
<b>8. PERSPECTIVAS.....</b>	<b>22</b>
<b>9. DIVULGACIÓN.....</b>	<b>23</b>
9.1. Logotipo.....	23
9.2. Grupo focal. Debate técnico y socioeconómico de los resultados .....	23
9.3. Jornada de difusión.....	26
9.4. Medios de comunicación.....	27
9.4.1. Radio.....	27
9.4.2. Medios impresos técnicos.....	27
9.4.3. Medios impresos generales.....	27
9.5. Redes sociales.....	27

## Índice de figuras

Figura 1. Ubicaciones de escombreras y explotaciones mineras muestreadas y caracterizadas .....	2
Figura 2 A. Detalle de carbón mayor de 1 cm. B y C secuencia de triturado. D. detalle de carbón menor de 1cm listo para aplicar .....	3
Figura 3. Aplicación de los diferentes tratamientos en ensayo de cereal.....	5
Figura 4. Ensayo en cultivo de garbanzo. ....	6
Figura 5. Ensayo en cultivo de plantas aromáticas. ....	6
Figura 6. Mapa de NDVI de los diferentes tratamientos en un ensayo de trigo. Sensor OptRx.....	7
Figura 7. Cosecha de ensayos de cereal y muestras de biomasa de plantas aromáticas. ....	7
Figura 8. pH final de los suelos después de cosecha. Pendiente lineal de la evolución del pH. Test LSD (p-valor<0.05). n= 120. T0 = 0Kg/Ha, T1= 5450Kg/Ha, T2=10830Kg/Ha, T3=21600Kg/Ha .....	9
Figura 9. Gráfico de interacción Pendiente lineal de la evolución del pH, tratamientos y valor de pH inicial. Test LSD (p-valor<0.05). n= 120. T0 = 0Kg/Ha, T1= 5450Kg/Ha, T2=10830Kg/Ha, T3=21600Kg/Ha.....	10
Figura 10. Capacidad de intercambio catiónico final. Pendiente lineal de la evolución de la capacidad de intercambio catiónico. Test LSD (p-valor<0.05). n= 120. T0 = 0Kg/Ha, T1= 5450Kg/Ha, T2=10830Kg/Ha, T3=21600Kg/Ha.....	11
Figura 11. Pendiente lineal de la evolución del fósforo asimilable en el suelo. Test LSD (p-valor<0.05). n= 120. T0 = 0Kg/Ha, T1= 5450Kg/Ha, T2=10830Kg/Ha, T3=21600Kg/Ha .....	12
Figura 12. Concentración final de fósforo asimilable en el suelo. Test LSD (p-valor<0.05). n= 120. T0 = 0Kg/Ha, T1= 5450Kg/Ha, T2=10830Kg/Ha, T3=21600Kg/Ha.....	13
Figura 13. NDVI por cultivo y tratamientos, después de floración de cultivos. Test LSD (p-valor<0.05). n= 120. T0 = 0Kg/Ha, T1= 5450Kg/Ha, T2=10830Kg/Ha, T3=21600Kg/Ha .....	14
Figura 14. Variables relacionadas con el rendimiento de los cultivos: trigo, cebada, avena, centeno, frente a los tratamientos. Análisis de medias LSD (p-valor<0.05).....	14
Figura 15. Detalle de prueba de germinación con diluciones de carbón:agua .....	15
Figura 16. Resultados de la germinación se diferentes mezclas de carbón y suelos. Suelo 1, suelo menor materia orgánica y más limoso, Suelo 2, Mas materia orgánica, textura más franca.....	16
Figura 17. Nascencia de cultivos. Test LSD (p-valor<0.05). n= 120. T0 =0Kg/Ha, T1=5450 Kg/Ha, T2=10830Kg/Ha, T3=21600Kg/Ha.....	17
Figura 18. Caracterización granulométrica de las escombreras de carbón. ....	18
Figura 19. Relación de densidad real y capacidad de campo calculada de las muestras de escombros .	18
Figura 20. Evaluación de la aplicación mecanizada de carbón mineral.....	19
Figura 21. Fracciones de carbón mineral obtenido en cada una de las bandejas de calibración.....	19
Figura 22. Detalle de cartel de AGROMINA en Magaz de Pisuegra y Palencia .....	23
Figura 23. Estructura de interacción en el grupo operativo.....	25
Figura 24. Ponderación de problemas para la incorporación de este proyecto en el plano comercial...	26
Figura 25. Enlace a entrevista en la radio: <a href="https://cadenaser.com/emisora/2020/06/01/radio_leon/1591004735_790822.html">https://cadenaser.com/emisora/2020/06/01/radio_leon/1591004735_790822.html</a> .....	27
Figura 26. Redes sociales impacto. Jornada de difusión resultados.....	28
Figura 27. Redes sociales impacto. Publicaciones finales .....	29
Figura 28. Redes sociales impacto. Enero 2020 .....	29
Figura 29. Redes sociales impacto. Febrero 2020 evaluación en diferentes cultivos, dosis y momentos de aplicación .....	30
Figura 30. . Redes sociales impacto. Mayo 2020 evaluación en diferentes cultivos, dosis y momentos de aplicación .....	31

## Índice de tablas

Tabla 1. Valores medios de las ubicaciones de los ensayos .....	3
Tabla 2. Caracterización química del carbón mineral y del residuo de carbón .....	8
Tabla 3. Resultados de tasa de germinación con diferentes diluciones de carbon:agua. Test LSD de medias, p-valor<0.005 .....	15
Tabla 4. Resumen de alcance de las publicaciones en redes sociales del proyecto AGROMINA.....	28

## 1. ANTECEDENTES.

### 1.1. Carbón mineral en Castilla y León

En Castilla y León, en la cuenca palentina y leonesa, constituidas principalmente por antracita y hulla, suponiendo 7 explotaciones activas de antracita en León y 5 en Palencia, y 1 explotación activa de hulla en León, según datos del 2014 [1], que supusieron 1.046 miles de toneladas de hulla y antracita.

Por otro lado en 2017 en Castilla y León el capítulo de fertilizantes y enmiendas supuso un volumen de negocio de 376,64 millones de euros [2]. Para este año 2017, en CyL se consumieron 223, 94 y 64 miles de toneladas de nitrogenados, fosfatados y potásicos respectivamente [3], siendo la segunda Comunidad Autónoma en consumo de fertilizantes.

En este proyecto hemos evaluado durante una campaña la incorporación de carbono orgánico a partir del carbón mineral, a fin de incrementar el contenido en carbono en los suelos.

### 1.2. Carbón mineral vs. biochar

Cada año con los fertilizantes se aplica fósforo. Este en un porcentaje variable en función del contenido en carbonatos, es retrodegradado en el suelo no quedando disponible para el cultivo. Por esta razón la industria de los fertilizantes está incorporando microorganismos que tienen la función de volver a solubilizar este fósforo que se retro-degrada, además de otras acciones que evitan su bloqueo.

La retro degradación del fósforo en el suelo contribuye a incrementar las reservas de fósforo total en el suelo, siendo estas reservas no todas disponibles para el cultivo. En esta línea el uso de biochar se ha demostrado ser una enmienda que contribuye a mantener los niveles de fósforo disponible en el suelo [4], [5], además de impedir la lixiviación de fuentes nítricas y amoniacales en el suelo [6], quedando estas disponibles para los cultivos. El biochar interviene en la adsorción de fósforo impidiendo que este sea retrodegradado en la estructura del suelo y que aumente la fracción de fósforo no asimilable en el suelo.

Se puede establecer un símil entre el biochar y el carbón mineral, en cuanto a características como en posibles usos. El biochar es un producto que ha se ha demostrado como una enmienda orgánica en los suelos favorece la retención de nutrientes: evitando la lixiviación del nitrógeno en el suelo, favoreciendo la concentración de fósforo disponible, o incluso en la retención de metales pesados. Otro lado en cuanto al carbón mineral existe diferentes tipos como el lignito, hulla y antracita que, en este orden, su contenido en carbono varía del 60% al 90%, ligado a también a un incremento del poder calorífico de los diferentes tipos de carbón. Estos carbones están formado mayoritariamente por átomos de C e H se encuentran formando estructuras aromáticas e hidro-aromáticas, a las que se encuentran unidas otras cadenas parafínicas con grupos funcionales, etc., estructuras que son reactivas en la solución iónica del suelo adsorbiendo algunos nutrientes como el fósforo o el nitrógeno en forma amoniacal como han mostrado algunas publicaciones científicas en el caso del lignito [6]–[8]. Se ha demostrado que la incorporación de carbón mineral al suelo también incrementa la capacidad de retención de agua [9]. Además en combinación con fertilizantes a base de urea se ha demostrado que reduce en entre un 13-29% la emisión de óxidos de nitrógeno [10], contribuyendo así a mitigar los gases de efecto invernadero derivados del uso de fertilizantes en agricultura.

### 1.3. Experiencias previas de carbón en agricultura

En la bibliografía científica son pocos las investigaciones que han evaluado este carbón como enmienda orgánica de suelos agrícolas.

En cuanto al empleo de antracita cabe destacar dos trabajos donde se emplearon estos carbones molturados y mezclados como enmienda de cultivos como la alfalfa (especie leguminosa) y la colza, obteniéndose diferencias significativas en aquellos tratamientos que contenían antracita [11], diferencias que también han apuntado otros artículos con el cultivo de colza y trigo [12].

Conviene destacar que se han realizado experiencias de aplicación de estos tipos de carbón como antracita y hulla para la estabilización de suelos a nivel estructural [13] y para la corrección de suelos salinos con unos buenos resultados [14].

El carbón tiene un elevado contenido en carbono y un pH básico, lo que permite ser una enmienda correctora de suelos ácidos, logrando equilibrar la capacidad de intercambio catiónico y reduciendo así los bloqueos en el suelo como se produce en el caso del fósforo, nutriente esencial en la nutrición de los cultivos.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Identificación de explotaciones mineras y escombreras

Durante los meses de agosto a octubre del 2019 se realizó una búsqueda de las explotaciones mineras en las provincias de León y Palencia, realizando con apoyo de las gentes locales un muestreo de los residuos y del carbón mineral que aún se podía recoger en las afueras



Figura 1. Ubicaciones de escombreras y explotaciones mineras muestreadas y caracterizadas. Acceso a ubicaciones en [My Maps](#)

### 2.2. Procesado de carbón

El carbón mineral fue acopiado en una planta de triturado de escombros a fin de separar las diferentes fracciones; mayor y menor a 1cm. La fracción mayor a 1 cm se trituró hasta conseguir reducirla (Figura 2). Este material fue el que se aplicó para los ensayos. Paralelamente se llevo una muestra a laboratorio para hacer la determinación que definirían las dosis de los tratamientos a ensayar.

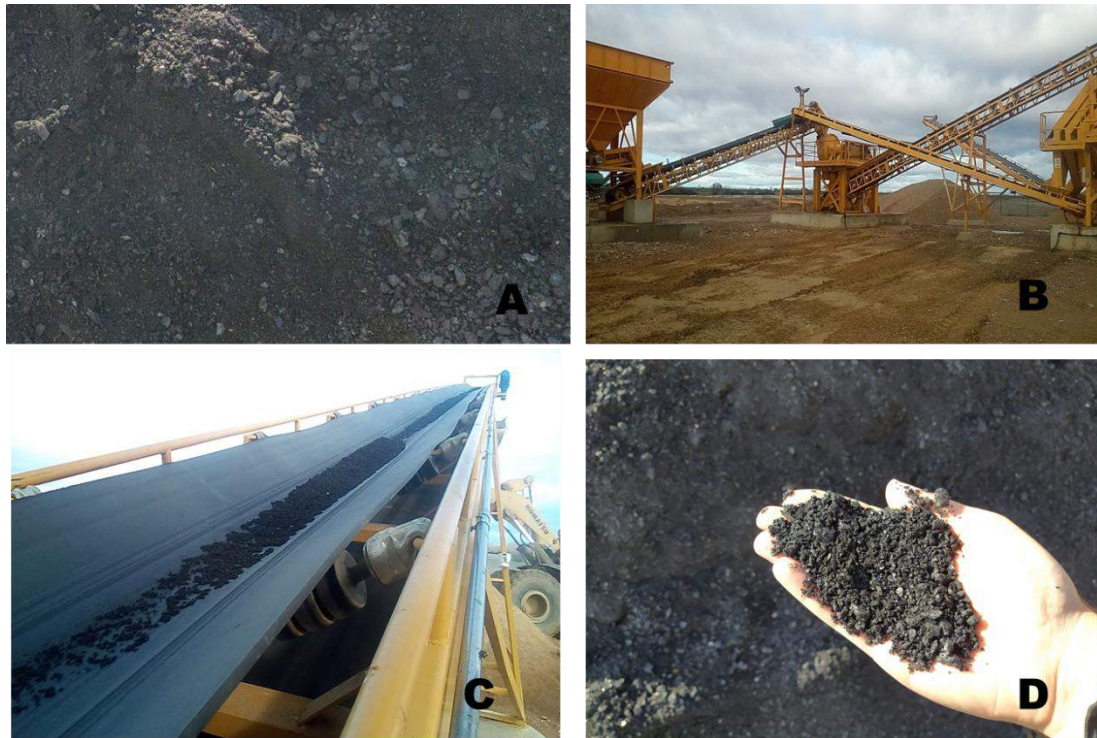


Figura 2A. Detalle de carbón mayor de 1 cm. B y C secuencia de triturado. D. detalle de carbón menor de 1cm listo para aplicar.

### 2.3. Tratamientos

Se definieron tres dosis de carbón exponenciales frente a un tratamiento sin carbón. Se planteó en un principio definir las dosis de carbón en función de los resultados de las mezclas carbón/suelo que resultasen inhibitoria de la nascencia, pero al no encontrar inhibición alguna se ajustaron estas dosis planteando en incrementar el contenido de materia orgánica del suelo a diferentes niveles en función de la concentración de materia orgánica del carbón (3.26%), para 2 cm

Con ello se estableció una dosis de referencia de carbón de: T1= 5450Kg/Ha, T2=10830Kg/Ha, T3=21600Kg/Ha, siendo T0 = 0 Kg/Ha.

### 2.4. Ubicación de ensayos

Los ensayos fueron repartidos por las provincias de Burgos, Palencia, Valladolid, Salamanca y Zamora, en diferentes suelos agrícolas, con diferentes niveles de pH, materia orgánica y textura como se aprecia en la Tabla 1. Para la realización de las labores agrícolas se conto con el apoyo de los agricultores y empresas de la zona. Dado que el proyecto es de un año se decidió incrementar el numero de ensayos repartidos por las provincias mencionadas para poder así analizar con más seguridad el efecto del carbón en el suelo y cultivo.

Tabla 1. Valores medios de las ubicaciones de los ensayos

Ubicación	pH	Materia orgánica [%]	Fósforo asimilable [mg/Kg]	Potasio cambiante [mg/Kg]	Sodio cambiante [meq/100g]	Calcio cambiante [meq/100g]	Nitratos [mg/Kg]	Magnesio cambiante [meq/100g]	Conductividad eléctrica [mS/cm]	Capacidad de Intercambio Catiónico [meq/100g]
Calzada de los Molinos (Palencia)	6.91	1.36	41.20	161	0.16	3.8	68	1.17	0.1	7.13
Cuenca de Campos (Valladolid)	8.32	1.27	7.20	153	0.03	36	59	1.25	0.18	37.67
Finca Viñalta (Palencia)	8.25	2.24	43.70	712	0.25	39.6	149	2.78	0.37	44.46

Ubicación	pH	Materia orgánica [%]	Fósforo asimilable [mg/Kg]	Potasio cambiante [mg/Kg]	Sodio cambiante [meq/100g]	Calcio cambiante [meq/100g]	Nitratos [mg/Kg]	Magnesio cambiante [meq/100g]	Conductividad eléctrica [mS/cm]	Capacidad de Intercambio Catiónico [meq/100g]
Magaz de Pisuerga (Palencia)	8.23	1.74	28.58	443	0.12	40.02	123	2.45	0.258	43.72
Palencia (Palencia)	8.38	2.27	44.38	723	0.25	40.22	151	2.82	0.21	45.15
Villamor de los Escuderos (Zamora)	7.82	1.47	22.65	305	0.05	35.52	106.00	3.39	0.18	11.53
Villamuera (Palencia)	8.28	1.22	21.50	246	0.11	25.3	122	0.65	0.22	26.69
Villamuriel (Palencia)	8.12	1.53	32.30	544	0.06	37.5	215	1.42	0.39	40.37
Ros (Burgos)	8.50	1.92	14.30	203	0.01	39.6	62	1.56	0.15	46.65

## 2.5. Cultivos

Se sembraron microparcelas de 10m por 1.2m (12m<sup>2</sup>) de diferentes cultivos como, trigo, cebada, centeno, avena, garbanzo, colza. Además de aplicar estos tratamientos (T0, T1, T2, T3) a plantaciones de lavanda y salvia.

Tabla 2. Cultivos ensayados en cada ubicación.

Ubicación	Avena	Cebada	Centeno	Trigo	Colza	Garbanzo	Lavanda	Salvia
Calzada de los Molinos (Palencia)	X	X	X	X				
Cuenca de Campos (Valladolid)		X						
Finca Viñalta (Palencia)				X				
Finca Santa Ana (Palencia)				X		X	X	X
Magaz de Pisuerga (Palencia)		X		X	X			
Palencia (Palencia)				X				
Villamor de los Escuderos (Zamora)						X		
Villamuera de la Cueva (Palencia)				X				
Villamuriel (Palencia)				X				
Ros (Burgos)		X						

El manejo del cultivo fue el que el agricultor definió, solo restringiendo por el personal de ITAGRA las unidades fertilizantes aplicadas por cultivo.

## 2.6. Aplicaciones en cultivos

Los tratamientos evaluados en cada uno de los ensayos consistieron en tres réplicas de los tratamientos indicados en el punto 2.3.

Estos tratamientos se incorporaron en fondo, con el fertilizante el 30% de las necesidades de nitrógeno, el 100% de las necesidades de fósforo y potasio, ajustando de forma homogénea para todos los tratamientos en sucesivas coberturas el nitrógeno restante.

### 2.6.1. Cereal

Los ensayos con cultivo de cereal: trigo, cebada, avena, (Figura 3), se ubicaron en diferentes localidades con diferentes condiciones de suelos en cuanto a valores de pH y capacidad de intercambio catiónico. Las siembras se realizaron, a una dosis de semilla de 80-220 Kg/Ha, en función del cultivo, en microparcelas de 1,2 x 11 m.



Figura 3. Aplicación de los diferentes tratamientos en ensayo de cereal

### 2.6.2. Colza

Los ensayos con cultivo de colza se ubicaron en Magaz de Pisuerga (Palencia). La siembra se realizó el 19 de septiembre a una dosis de 600000 sem/ha, en microparcels de 1,2 x 11 m.

### 2.6.3. Garbanzo

Los ensayos con cultivo de garbanzo (Figura 4), se implantaron en condiciones de suelos ácidos, en el municipio de Villamor de los Escuderos (Zamora) y en condiciones de suelos básico, en la Finca Santa Ana (Palencia). Para la siembra se empleó la variedad Garabito. La siembra se realizó en el mes de marzo, con una sembradora monograno, a una densidad de siembra de 230000 plantas/ha, en microparcels de 1,2 x 11 m. Al ser una planta fijadora de nitrógeno, en el programa de fertilización solo se incorporó fósforo y potasio.



Figura 4. Ensayo en cultivo de garbanzo.

#### 2.6.4. Plantas aromáticas y medicinales

Para realizar los ensayos con aromáticas se utilizaron plantaciones de un año Figura 5. Concretamente las experimentaciones se realizaron en unas plantaciones de lavanda y salvia existentes en la Finca Santa Ana (Palencia).



Figura 5. Ensayo en cultivo de plantas aromáticas.

El seguimiento de todos los campos de ensayo se realizó de forma quincenal, identificando incidencias, anotando los estados fenológicos de cada tratamiento, y realizando los tratamientos fitosanitarios que fuesen necesarios.

#### 2.7. Determinaciones

Previo a la siembra se realizó sobre cada microparcela una muestra, para analizar en laboratorio el contenido nutricional inicial: pH, conductividad eléctrica, nitrógeno, fósforo asimilable, potasio cambiante, magnesio cambiante, sodio cambiante, materia orgánica, carbonatos y textura. A mitad de ciclo y en la cosecha de los cultivos se realizó otro muestro de suelo para estudiar la evolución de los parámetros químicos del suelo.

Durante el cultivo se realizó un seguimiento del vigor de las microparcels a través de NDVI, antes y después de floración (Figura 6). Además, se realizó una determinación de la nascencia, número de espigas y altura del cultivo por cada microparcels.

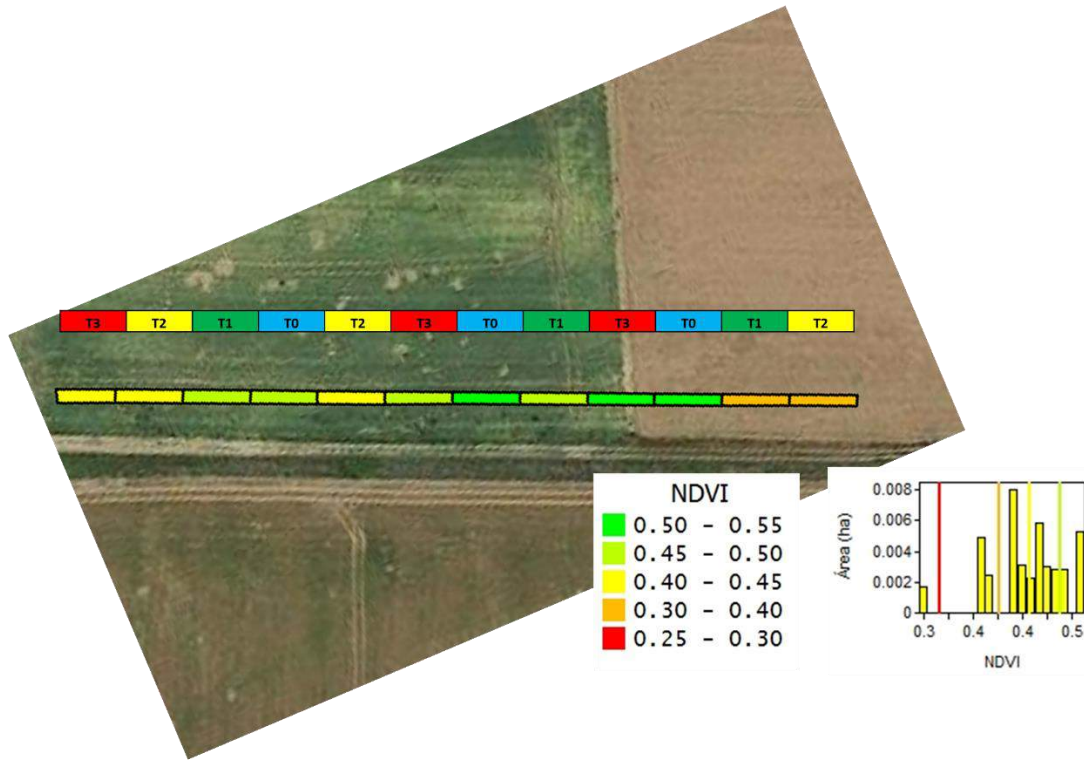


Figura 6. Mapa de NDVI de los diferentes tratamientos en un ensayo de trigo. Sensor OptRx

La cosecha se realizó con una cosechadora de ensayos (Figura 7) que registra por cada microparcels la humedad, peso específico y rendimiento, datos que nos permiten contrastar el efecto de los tratamientos en la producción. En el caso de las plantaciones de lavanda, se realizó una cosecha manual para la determinación de la biomasa total.



Figura 7. Cosecha de ensayos de cereal y muestras de biomasa de plantas aromáticas.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Caracterización fisicoquímica del carbón

En la Tabla 2 se muestra los valores analíticos del carbón mineral y el residuo que se obtiene en la extracción del carbón y que por su escaso poder calorífico es descartado como residuo. Como se puede

observar los valores de metales pesados están por debajo de lo que regula el RD 1310/1990 de utilización de lodos de depuración en agricultura, ya que es la única legislación que recoge algún rango de limitación de metales pesados. Estos datos descartan la idea que el carbón mineral aporte al suelo sustancias “tóxicas” para las plantas.

En cuanto a los demás parámetros destaca el alto contenido en fósforo asimilable, en similar concentración al que nos podemos encontrar en una gallinaza, en potasio vemos que incluso presenta valores más altos que cualquier residuo ganadero.

También en cuanto a la conductividad eléctrica observamos que esta es baja, comparado con otros residuos que tradicionalmente se aplican como enmienda en suelos agrícolas como purines o liseres.

Tabla 2. Caracterización química del carbón mineral y del residuo de carbón

Parámetro	RESIDUO CARBON	CARBON	RD 1310/1990
pH	8.35	8	
Conductividad eléctrica	0.47 mS/cm	2.3 mS/cm	
Arena	81.56 %		
Limo	7.28 %		
Arcilla	11.16 %		
Materia orgánica	3.29 %	3.26 %	
Materia orgánica total		9.91 %	
Carbonatos	<6 %	<6 %	
Caliza activa	- %	- %	
Fósforo asimilable	<4 mg/Kg	6.5 mg/Kg	
Potasio asimilable	76 mg/Kg	27 mg/Kg	
Calcio asimilable	28.5 meq/100g	9.75 meq/100g	
Magnesio asimilable	1.22 meq/100g	1.51 meq/100g	
Sodio asimilable	0.02 meq/100g	0.3 meq/100g	
Capacidad de Intercambio Catiónico	29.93 meq/100g	11.63 meq/100g	
Nitrógeno		0.01 %	
Ácidos fúlvicos		1.4 %	
Ácidos húmicos		<0.50 %	
Cadmio		<0.40 mg/Kg	20-40 mg/Kg
Cobre		16 mg/Kg	1000-1750 mg/Kg
Níquel		5.7 mg/Kg	300-400 mg/Kg
Plomo		9.8 mg/Kg	750-1200 mg/Kg
Zinc		48.3 mg/Kg	2500-4000 mg/Kg
Mercurio		0.43 mg/Kg	16-25 mg/Kg
Cromo		<3 mg/Kg	1000-1500 mg/Kg

### 3.2. pH

En la Figura 8 se muestra como existen diferencias significativas entre los tratamientos en el valor final del pH: el tratamiento a dosis más baja de carbón (T1) supone una reducción mayor que el resto de los tratamientos en el pH final de los suelos ensayados, incluso respecto a los suelos donde no se ha aplicado carbón (T0). En cambio, las dosis más altas de carbón (T2 y T3) resultan que han mostrado un aumento significativo en el valor del pH inicial de los suelos. Estas interpretaciones coinciden con la evolución lineal del pH en el cultivo, se muestra como de forma generaliza en todos los tratamientos ha habido una reducción de pH en el ciclo del cultivo, siendo esta reducción mayor con el T1, y siendo esta reducción menor en los T2 y T3, indistintamente.

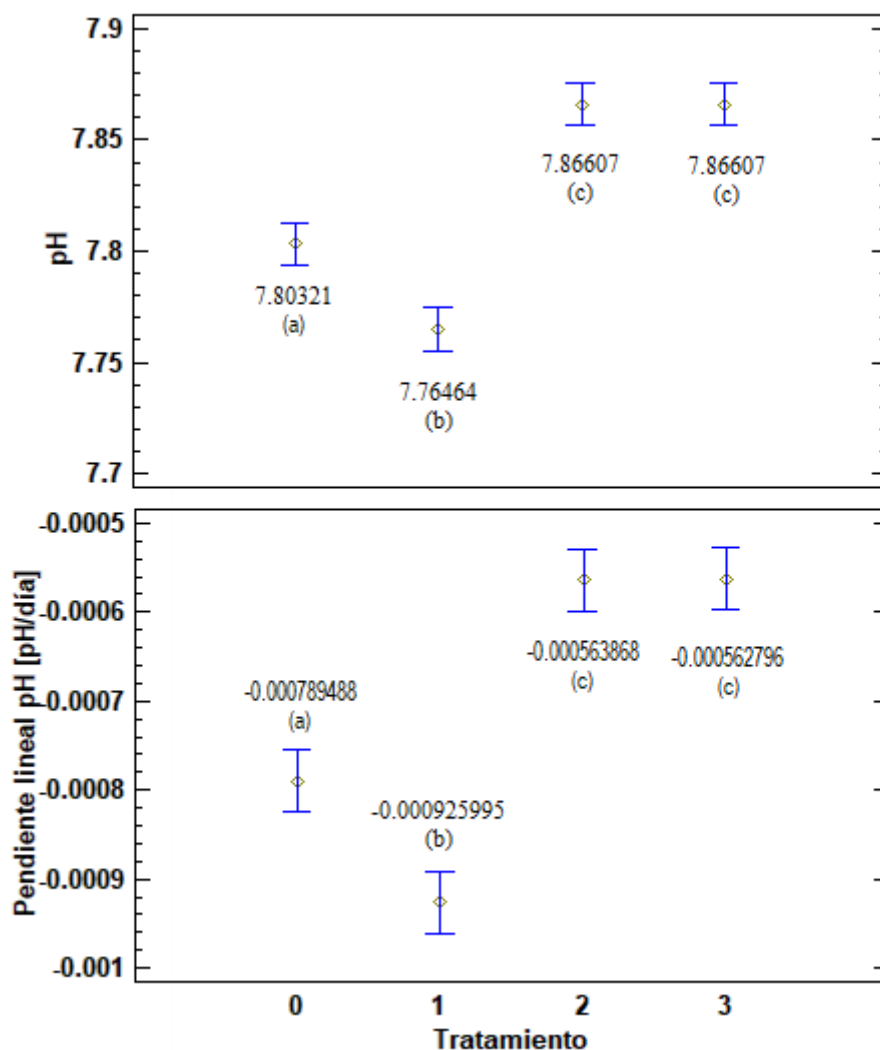


Figura 8. pH final de los suelos después de cosecha. Pendiente lineal de la evolución del pH. Test LSD ( $p$ -valor < 0.05).  $n = 120$ .  $T_0 = 0\text{Kg}/\text{Ha}$ ,  $T_1 = 5450\text{Kg}/\text{Ha}$ ,  $T_2 = 10830\text{Kg}/\text{Ha}$ ,  $T_3 = 21600\text{Kg}/\text{Ha}$ .

Si analizamos esta evolución del pH final respecto a los valores iniciales de pH (Figura 9), observamos que en suelos ligeramente ácidos (pH 6.91) la incorporación de cualquier dosis de carbón supone un incremento en el valor de pH de hasta 0.6, no mostrando diferencias entre la dosis de T2 y T3, y mostrando cierta linealidad en estas dosis que han sido duplicadas (T3 es el doble de T2). La tendencia en los suelos con pH iniciales entorno a 8 (suelos básicos) no tienen una respuesta homogénea por

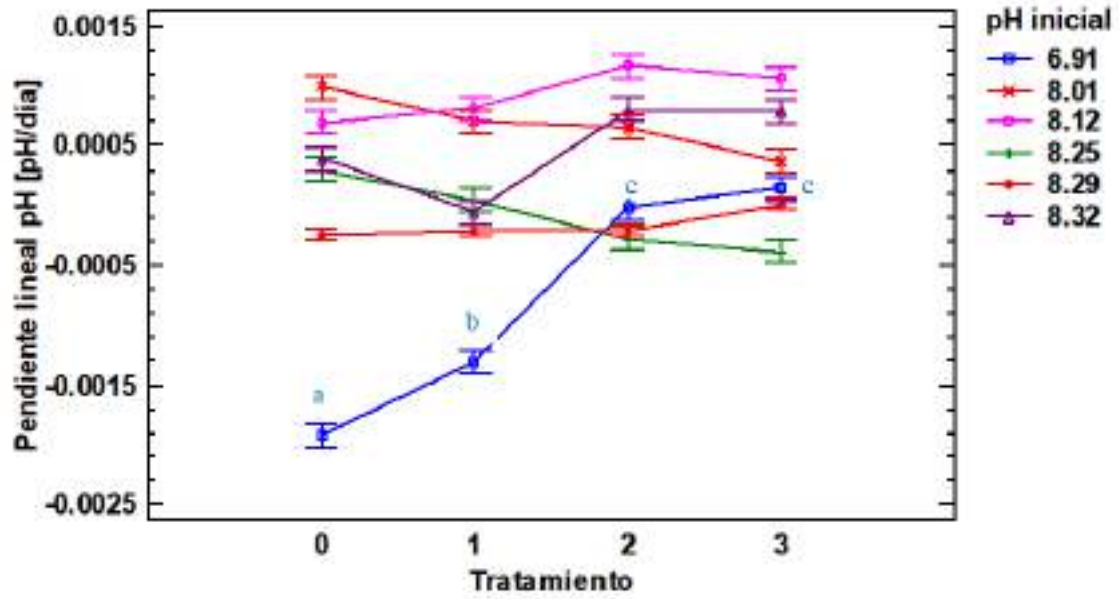


Figura 9. Gráfico de interacción Pendiente lineal de la evolución del pH, tratamientos y valor de pH inicial. Test LSD (p-valor<0.05). n= 120. T0 = 0Kg/Ha, T1= 5450Kg/Ha, T2=10830Kg/Ha, T3=21600Kg/Ha.

### 3.3. Capacidad de intercambio catiónico

La evolución de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) en los suelos del proyecto se ha podido seguir con los muestreos realizados en el momento de la siembra, mitad de ciclo y la cosecha, pudiendo así registrar cual ha sido el comportamiento de la CIC de los diferentes suelos con dosis de carbón frente a esos mismos suelos sin carbón. Estos valores finales de la CIC se muestran en la Figura 10 arriba, donde el T0 y T3 muestran que no aplicar carbón y aplicar la máxima cantidad tienen el mismo efecto en el valor final de la CIC.

Si analizamos la evolución lineal de la capacidad de intercambio catiónico ( $R^2=0.61$  medio del ajuste lineal de los datos) obtenidas como suma de los cationes de calcio, magnesio, potasio y sodio, observamos que existe una diferencia significativa en los T2 y T3 frente a T0 y T3, mostrando una reducción mayor de la CIC con dosis bajas de carbón (5540Kg/Ha), y no mostrando diferencias significativas entre aplicar 21600Kg/ha de carbón y no aplicar nada.

Esto permite afirmar que la dosis más baja de carbón tiene un efecto significativo en la reducción de la CIC de los suelos.

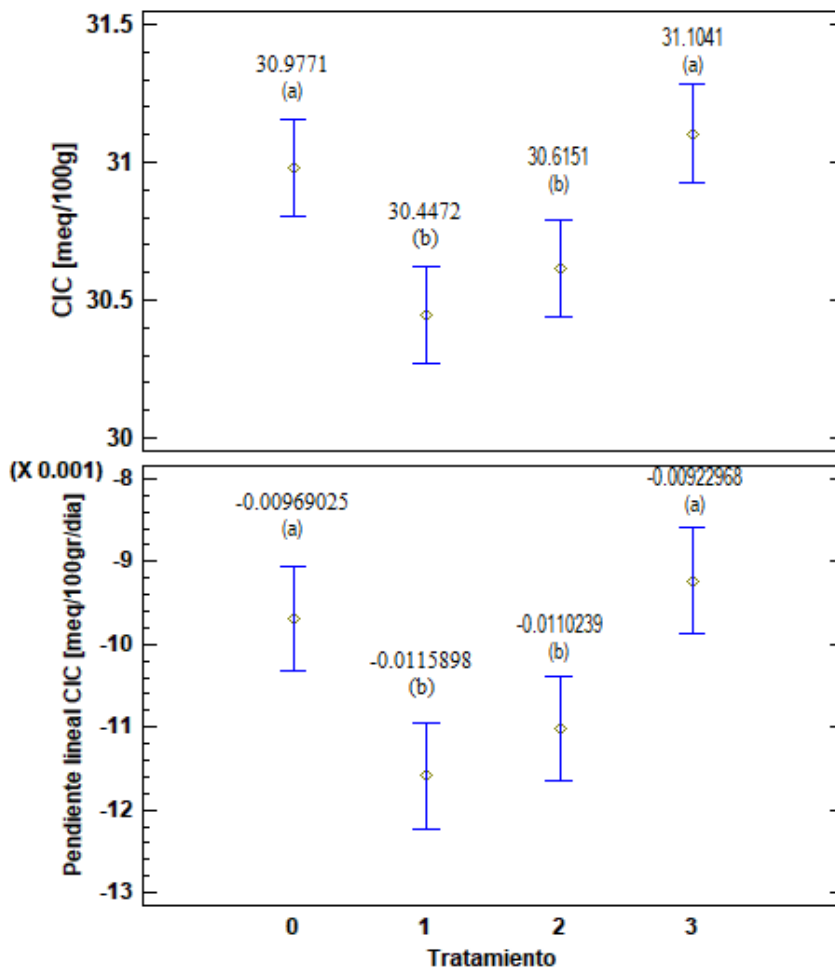


Figura 10. Capacidad de intercambio catiónico final. Pendiente lineal de la evolución de la capacidad de intercambio catiónico. Test LSD ( $p$ -valor < 0.05).  $n = 120$ . T0 = 0Kg/Ha, T1= 5450Kg/Ha, T2=10830Kg/Ha, T3=21600Kg/Ha.

### 3.4. Fósforo asimilable

La evolución de la concentración de fósforo asimilable en el suelo conforme avanza el cultivo tiende a reducirse su concentración en el suelo, bien por el consumo de las plantas, o como por la retrodegradación del fósforo asimilable. Por ello si analizamos la evolución de la concentración de fósforo en tres momentos del cultivo: siembra, mitad del ciclo y cosecha, podemos simplificar esta evolución en un ajuste lineal, una recta, definida por la pendiente. Si la pendiente es negativa nos indica que ha habido reducción de la concentración de fósforo asimilable en el suelo, y si la pendiente ha sido positiva nos indica que este fósforo ha ido incrementándose con el desarrollo del cultivo.

Si analizamos estadísticamente las medias de las pendientes de la evolución de fósforo en el suelo para cada tratamiento, observamos que el tratamiento T1 (dosis de carbón a 5450 Kg/Ha) muestra un comportamiento significativamente diferente a los tratamientos T0, T2, y T3. Mostrando que la dosis más baja de carbón muestra un incremento mayor que el resto de los tratamientos en la concentración de fósforo disponible en el suelo.

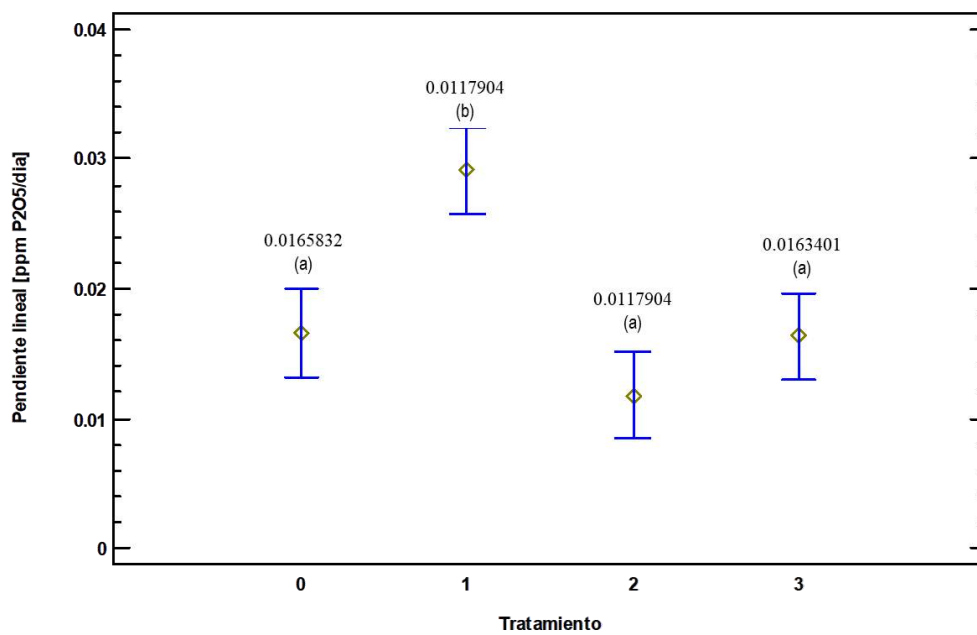


Figura 11. Pendiente lineal de la evolución del fósforo asimilable en el suelo. Test LSD ( $p$ -valor < 0.05).  $n = 120$ . T0 = 0Kg/Ha, T1 = 5450Kg/Ha, T2 = 10830Kg/Ha, T3 = 21600Kg/Ha.

En cuanto a concentración final de fósforo en el suelo, también observamos esta misma respuesta en los tratamientos. La concentración de fósforo disponible ha sido significativamente superior en el T1, respecto al resto de tratamientos, mostrando una respuesta similar el T0 y el T2. Es decir, la concentración de fósforo disponible en el suelo al final del cultivo ha sido mayor con la dosis de carbón de 5450Kg/Ha.

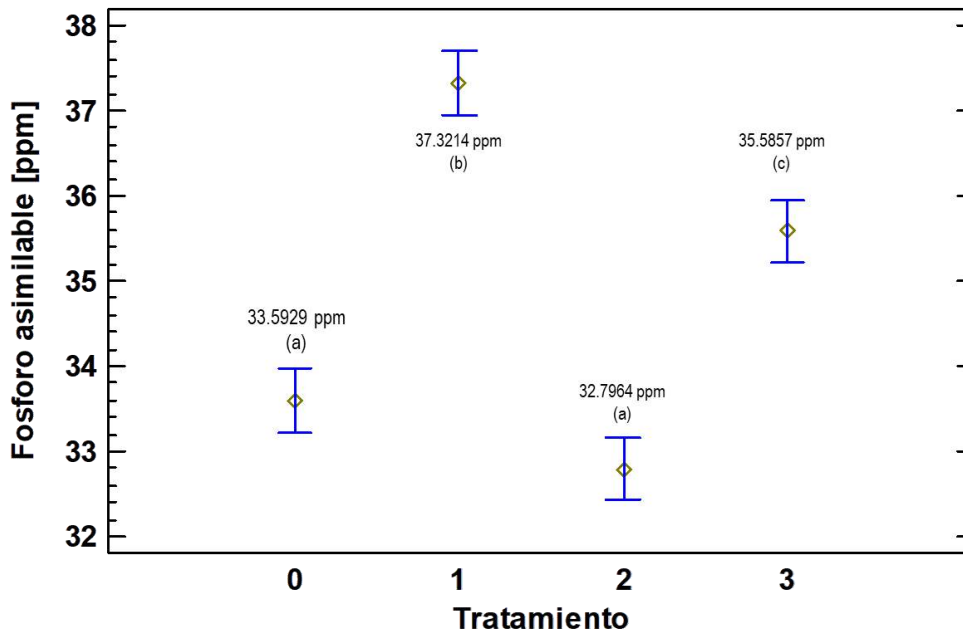


Figura 12. Concentración final de fósforo asimilable en el suelo. Test LSD ( $p$ -valor $<0.05$ ).  $n=120$ .  $T0=0\text{Kg}/\text{Ha}$ ,  $T1=5450\text{Kg}/\text{Ha}$ ,  $T2=10830\text{Kg}/\text{Ha}$ ,  $T3=21600\text{Kg}/\text{Ha}$ .

Analizando posibles fuentes o sumideros de fósforo que puedan interferir en la concentración final de fósforo: extracciones de cultivo y mineralización de la materia orgánica, vemos que:

- Los datos muestran que no existe relación significativa ( $p$ -valor $<0.05$ ) entre la dosis de carbón mineral y los rendimientos de cada cultivo. Igual resultado se muestra en el análisis aislado por cada cultivo. Dado que la relación entre la producción y el contenido en P en el suelo no ha mostrado ser significativo, se puede afirmar que la mayor presencia de P asimilable en el suelo final no está relacionada con la extracción de fósforo por el cultivo: más producción más extracción, menor concentración de fósforo final en el suelo.
- Por otro lado, cabe pensar que este incremento de fósforo disponible venga de la mineralización de la materia orgánica del suelo. Tras analizar las medias de las pendientes lineales de la evolución de la materia orgánica en el suelo en los tres momentos del cultivo, observamos que no existen diferencias significativas entre los tratamientos. Igualmente obtenemos al evaluar estadísticamente las medias del contenido final de la materia orgánica en el suelo.

Por estas razones podemos afirmar que esta variación de fósforo disponible en el suelo está relacionada únicamente con los tratamientos de carbón mineral.

### 3.5. Nitrógeno

En cuanto al contenido final del nitrógeno total (orgánico e inorgánico), no se muestran diferencias significativas entre los tratamientos, si bien se muestra que el factor “cultivo” sí que afecta al contenido final de nitrógeno total: trigo, centeno (grupo a), y colza, avena, cebada (grupo b). Estos grupos no muestran ninguna relación con el tipo de sistema radicular del cultivo; más superficial, más profundo, que pudiera explicar esta diferencia en el contenido final de nitrógeno total.

Como se ha indicado hay investigaciones que han demostrado relaciones entre el carbón mineral (lignito) con la adsorción con el nitrógeno amoniacal [7], [8]. En este proyecto no se ha realizado esta determinación, y tampoco a nivel de nitrógeno total no se han visto diferencias.

### 3.6. Producción biomasa

La evolución de los cultivos en los diferentes tratamientos con carbón mineral no ha mostrado ninguna diferencia significativa atribuida a la dosis.

En cuanto a evolución del índice NDVI en los dos momentos (previo y posterior a floración) no se muestran diferencias significativas entre los tratamientos como se muestra en la ()

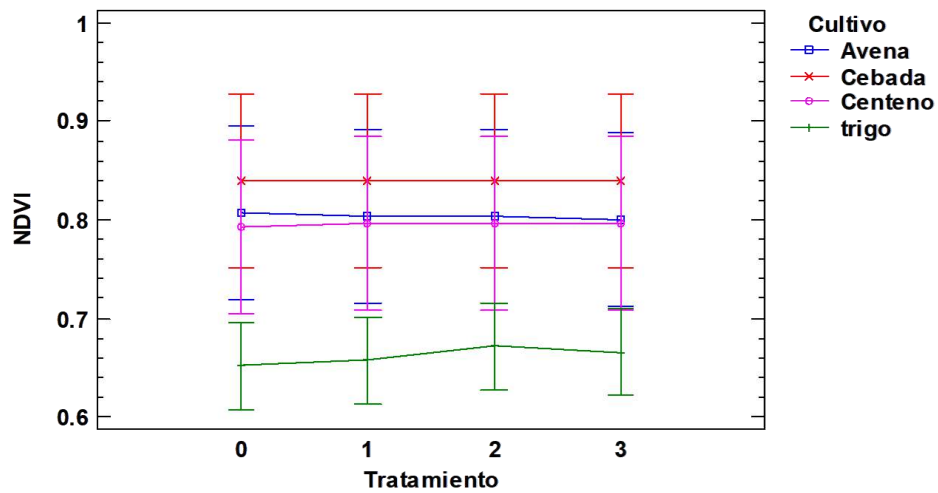


Figura 13. NDVI por cultivo y tratamientos, después de floración de cultivos. Test LSD ( $p$ -valor $<0.05$ ).  $n=120$ . T0 = 0Kg/Ha, T1 = 5450Kg/Ha, T2 = 10830Kg/Ha, T3 = 21600Kg/Ha.

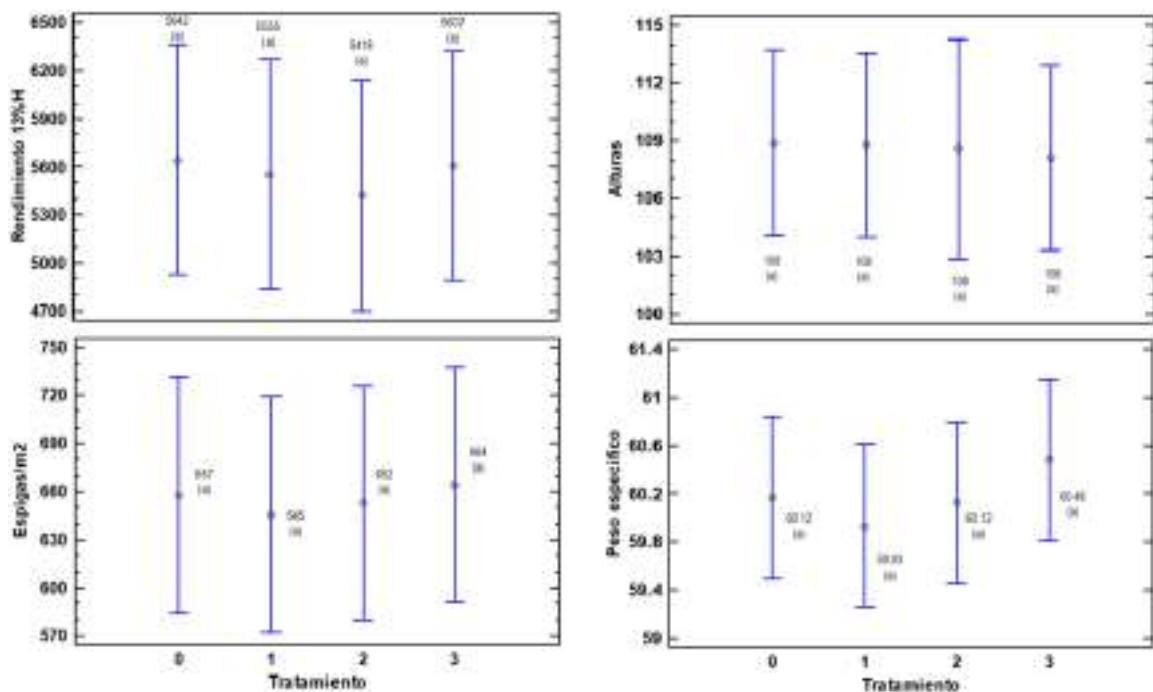


Figura 14. Variables relacionadas con el rendimiento de los cultivos: trigo, cebada, avena, centeno, frente a los tratamientos. Análisis de medias LSD ( $p$ -valor $<0.05$ )

### 3.7. Germinación

Las pruebas realizadas en laboratorio para determinar la germinación de las semillas con diferentes dosis de carbón.

Para ello se tomó carbón mineral triturado a menos de 1mm de diámetro y se realizaron diferentes diluciones con agua conforme a la Tabla 3. Las diferentes diluciones se utilizaron para humedecer un filtro en una placa Petri donde se pusieron 10 semillas de canónigos (*Nasturtium officinale*), e introducir las en una cámara de germinación a 15°C durante 10 días. Una vez pasados los días se evaluó por triplicado la tasa de germinación, resultando los datos de la siguiente Tabla 3.

Podemos observar que la tasa de germinación más baja es con la dilución más baja (carbon:agua 1:1). Curiosamente la tasa de germinación mayor del 90% se experimentó con la dilución 1:2.

Tabla 3. Resultados de tasa de germinación con diferentes diluciones de carbon:agua. Test LSD de medias, p-valor<0.005

Dilución Carbón: Agua	Tasa de germinación
1/1	63% (a)
1/2	90% (b)
1/4	80% (b)
1/8	83% (b)
1/16	77% (ab)
1/32	77% (ab)
1/64	83% (ab)
1/50	83% (ab)
1/100	80% (ab)
1/500	73% (ab)
1/1000	80% (ab)
Control (agua)	87% (ab)

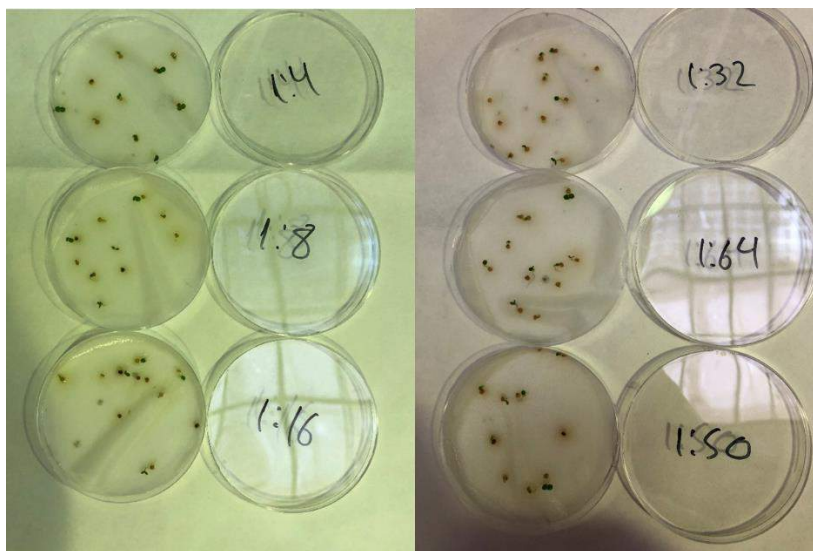


Figura 15. Detalle de prueba de germinación con diluciones de carbón:agua

### 3.8. Germinación. Mezcla de suelo y carbón

Para emular lo que sucede en el suelo al aplicar el carbón mineral se realizó una prueba de nascencia a diferentes dosis para tratar de ver la dosis inhibitoria; dosis a la cual se produce un descenso de la nascencia que compromete la rentabilidad del cultivo. Para ello se realizó en macetas de un litro, realizando las mezclas por triplicado de carbón y suelos. En el caso de los suelos se optó por dos suelos, uno pobre en materia orgánica (<0.8%) y otro con una concentración mayor (>1.9%). El suelo tamizado

a 2mm fue mezclado con el carbón también con la misma granulometría, para posteriormente sembrar 10 semillas de cebada, y evaluar la germinación de estos granos en las diferentes mezclas. Las macetas fueron mantenidas en una cámara climática con fotoperiodo 16:8 durante 10 días, tras lo cual se realizó la determinación de la nascencia.

Como se observa en la siguiente Figura 16 las semillas germinan perfectamente tanto en carbón solo como en las diferentes mezclas.

También se observó en el ensayo que las macetas con alta concentración de carbón se producían mayores pérdidas de agua por infiltración y evaporación, derivándose en una compactación que impedía que germinase la semilla, concluyendo que la falta de estructura de este sustrato es el factor que afecta a la nascencia, y no la toxicidad de elementos que aporta el carbón al sustrato.

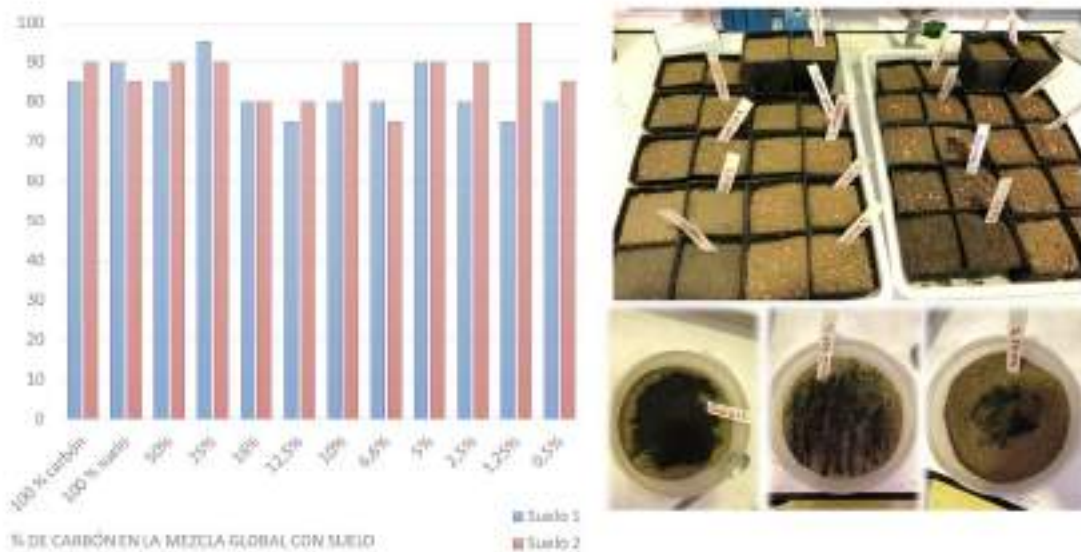


Figura 16. Resultados de la germinación se diferentes mezclas de carbón y suelos. Suelo 1, suelo menor materia orgánica y más limoso, Suelo 2, Mas materia orgánica, textura más franca.

### 3.9. Efecto en la nascencia del cultivo

Definir si el carbón en el suelo como enmienda orgánica inhibe el crecimiento de los cultivos, es uno de los objetivos de la investigación.

Según los datos obtenidos en los ensayos de trigo, cebada, centeno y avena, no se han mostrado diferencias significativas entre los tratamientos en la nascencia de los cultivos. Cierto es que se muestra un aumento no significativo a la nascencia conforme se incrementa la dosis de carbón al suelo. Estos resultados indican que el carbón no influye reduciendo la nascencia de los cultivos.

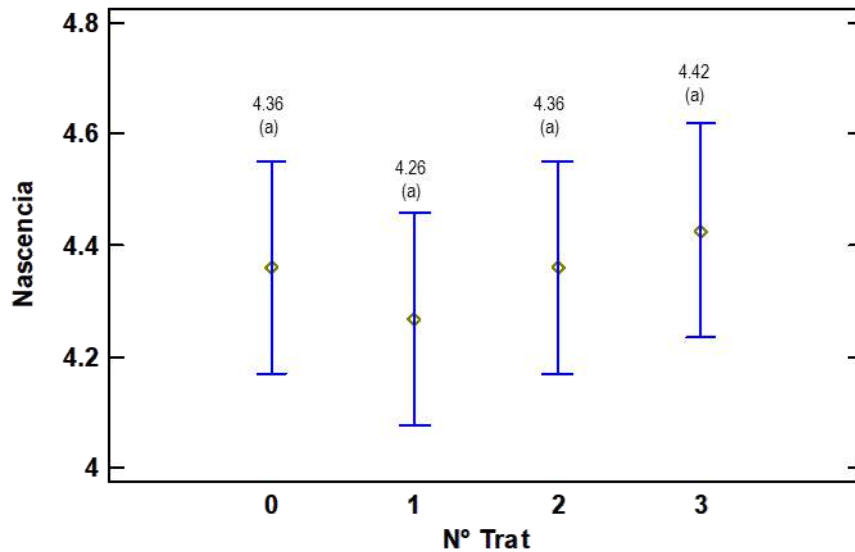


Figura 17. Nascencia de cultivos. Test LSD ( $p$ -valor<0.05).  $n=120$ .  $T_0=0\text{Kg}/\text{Ha}$ ,  $T_1=5450\text{Kg}/\text{Ha}$ ,  $T_2=10830\text{Kg}/\text{Ha}$ ,  $T_3=21600\text{Kg}/\text{Ha}$ .

Se muestra una tendencia en el incremento de la materia orgánica del suelo. Analizando la evolución de la materia orgánica en los tres momentos de los cultivos se muestra que es la colza la que más relación de incremento de materia orgánica experimenta con la mayor dosis de carbón. Cebada>Trigo>Colza> y que muestran un descenso de la materia orgánica con la dosis mayor: avena<centeno. Esta cuestión se puede deber a la profundidad del sistema radicular, ya que el primer grupo tiene un sistema más profundo.

### 3.10. Granulometría

Se documentaron más de 15 escombreras en las provincias de León y Palencia, realizando un análisis de cada escombro: granulometría, toxicidad, análisis compuesto químico.

Las muestras de las 15 escombreras se hizo una caracterización granulométrica que se muestra en la Figura 18. De forma paralela se hizo una caracterización de la conductividad hidráulica, tomando como referencia un Infiltrómetro y calculando la densidad real y aparente, y obteniendo así la capacidad de retención de agua que es la cantidad de agua que puede retener un suelo antes de que el agua percole sin más por el perfil. Para ello se tomaron cilindros de altura y volumen conocido, pesando inicialmente la cantidad de escombro a introducir, y llevándolo a saturación, hasta que el agua percolase sin más por el cilindro, pasadas 24 horas se peso el cilindro y la relación entre el peso del escombro seco y la cantidad de agua retenida a las 24 horas obtenemos la capacidad de campo.

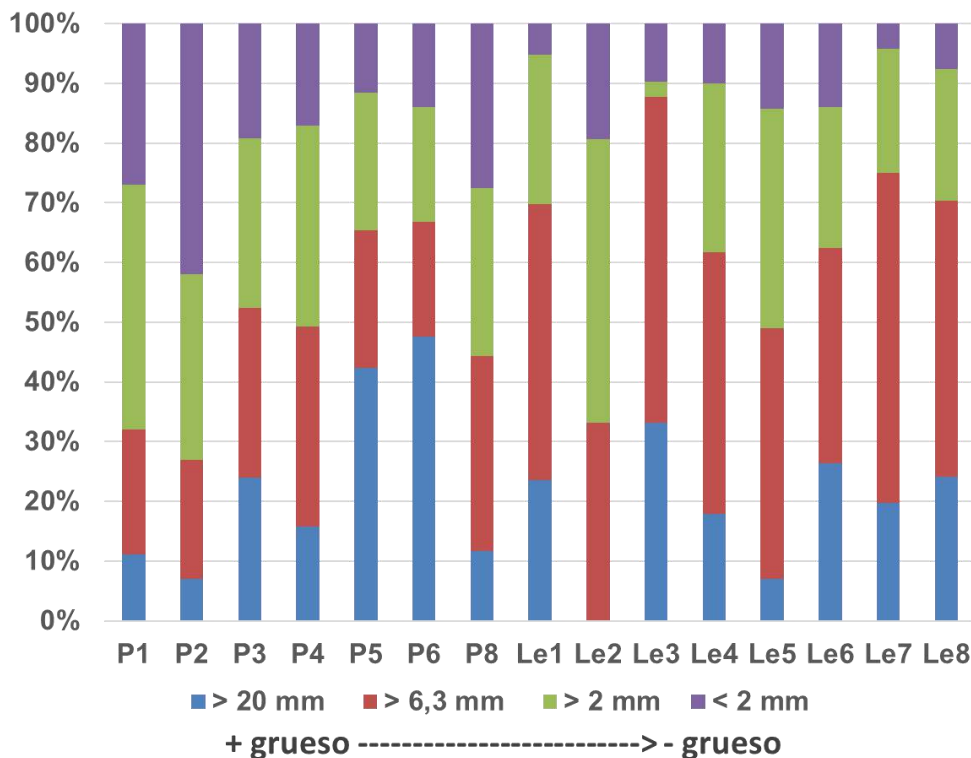


Figura 18. Caracterización granulométrica de las escombreras de carbón.

Como se muestra en la Figura 19 existe una gran variabilidad en los escombros en los valores de capacidad de campo, habiendo muestras con una gran capacidad de retención (Le8) o una muy baja (P1). Los valores de la capacidad de retención de agua en un suelo que nos podemos encontrar es en suelos arenosos valores aproximados de 5%, hasta de 18% en suelos arcillosos. En este caso los valores de los escombros arrojan valores de capacidad de retención de agua muy superiores: 33-83%. Estos valores de densidad aparente y CRA si se comparan con los valores de suelos tipo (arenosos, limosos, arcillosos), no coinciden, ya que la naturaleza del escombros debido a su perfil de compuestos orgánicos permite retener las agua.

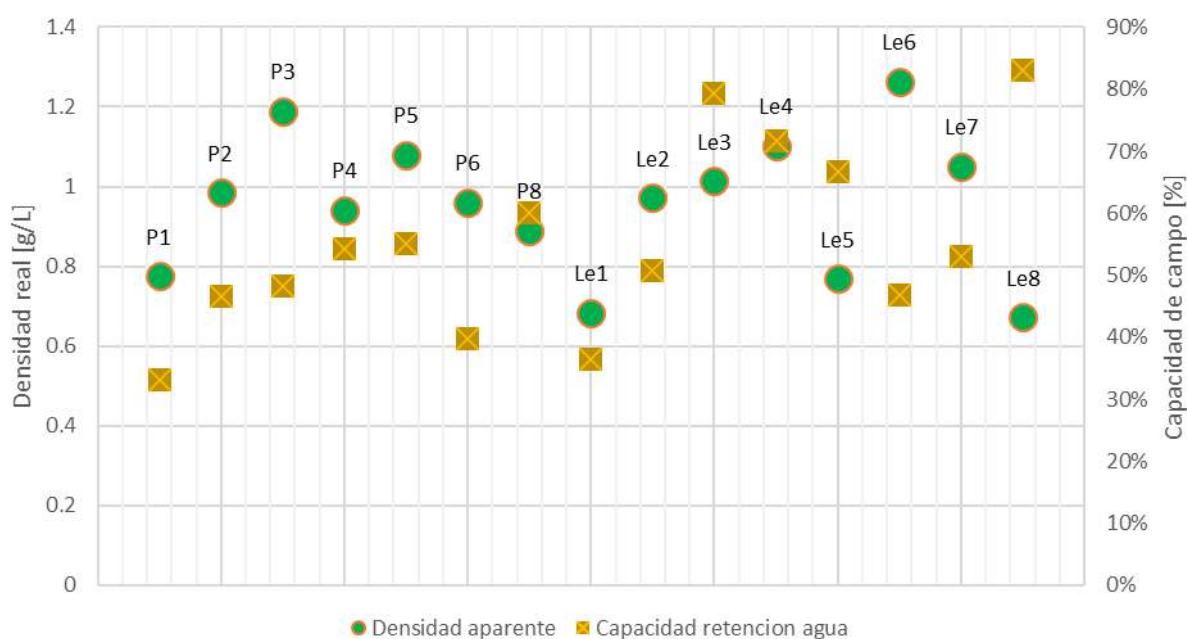


Figura 19. Relación de densidad real y capacidad de campo calculada de las muestras de escombros

### 3.11. Aplicación con maquinaria de abonado

El estudio desde el punto de vista agronómico, de posibles usos del carbón mineral en la agricultura, lo hemos querido ampliar evaluando la calidad de la distribución mecanizada del carbón.

Para ello hemos aplicado carbón mineral con una abonadora centrífuga de doble disco. Este tipo de máquina es el que se emplea en agricultura para la distribución de fertilizantes minerales.

Sobre el terreno se colocaron una serie de bandejas para la calibración de abonadoras, y en ellas se recogió el carbón distribuido a una anchura de 24 m.



Figura 20. Evaluación de la aplicación mecanizada de carbón mineral.

Una vez realizada la aplicación de carbón sobre el terreno, se recogió el contenido de cada una de las bandejas. La distribución se puede valorar como correcta, pero se observó una diferencia de granulometrías en el contenido de cada bandeja, como se puede observar en la Figura 21. Por lo tanto, de esta sencilla prueba podemos extraer la conclusión, que, para realizar una aplicación mecanizada de carbón mineral, es fundamental que este carbón mineral sea de una granulometría muy uniforme.

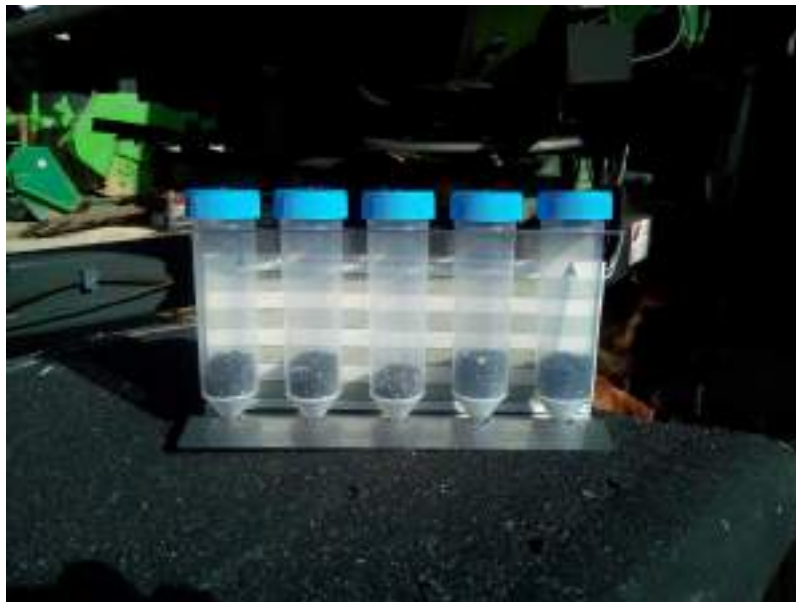


Figura 21. Fracciones de carbón mineral obtenido en cada una de las bandejas de calibración.

#### 4. CONCLUSIONES

Aunque los datos son de solo una campaña agrícola y convendría mucho evaluar en estas mismas parcelas cómo evolucionan los parámetros químicos del suelo y las producciones en al menos tres campañas más, los datos que hemos obtenido apuntan a las siguientes conclusiones que han sido validadas en las diferentes ubicaciones de los ensayos del proyecto y para diferentes cultivos. Se ha demostrado:

- Que la incorporación de carbón a la dosis más baja de 5450 Kg/ha tiene un efecto significativo en que se encuentre más concentración de fósforo asimilable en el suelo al final del cultivo.
- Que las diferentes dosis de carbón ensayadas en campo no inhiben la nascencia de los cultivos. Además, en el laboratorio se ha determinado que dosis mayores a las ensayadas tampoco han mostrado interferencia en la germinación y nascencia de las semillas.
- Que la dosis más baja de carbón ha mostrado ser una enmienda para reducir la capacidad de intercambio catiónico de los suelos. En este sentido no se ha podido evaluar la interacción más detalle con los cationes del complejo: calcio, magnesio, potasio.
- Que la dosis más baja de carbón ha mostrado en suelos básicos (pH mayor de 8) una reducción de pH significativa al final del ciclo, frente a los demás tratamientos. En el caso de los suelos ligeros ácidos ensayados ha mostrado que el incremento en las dosis de carbón ha tenido un incremento del pH, constituyendo una enmienda correctora de suelos ácidos.
- Que las diferentes dosis de carbón no han tenido efecto significativo en la producción y su calidad de los diferentes cultivos.
- Que el biochar en el mercado tiene un precio de 500-600€/t, frente a los 100-200€/t que tiene el carbón, lo que permite a este segundo ser una alternativa mas competitiva en cuanto a la absorción de los iones del suelo para mejorar la eficiencia por ejemplo del fósforo en el suelo.

## 6. REFERENCIAS

- [1] J. C. y L. Dirección General de Energía y Minas, “ESTRATEGIA DE RECURSOS MINERALES DE CASTILLA Y LEÓN 2017-2020,” 2020.
- [2] “Cuentas Económicas de la Agricultura | Agricultura y Ganadería | Junta de Castilla y León.” [https://agriculturaganaderia.jcyl.es/web/jcyl/AgriculturaGanaderia/es/Plantilla100/1284214595900/\\_/\\_/\\_](https://agriculturaganaderia.jcyl.es/web/jcyl/AgriculturaGanaderia/es/Plantilla100/1284214595900/_/_/_) (accessed May 24, 2019).
- [3] “ANÁLISIS DEL CONSUMO DE FERTILIZANTES EN ESPAÑA AÑO 2017.” Accessed: May 24, 2019. [Online]. Available: <https://acefer.com/wp-content/uploads/2018/06/IT-172-Consumo-fertilizantes-Ano-2017.pdf>.
- [4] D. Cao, W. Chen, P. Yang, Y. Lan, and D. Sun, “Spatio-temporal variabilities of soil phosphorus pool and phosphorus uptake with maize stover biochar amendment for 5 years of maize,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 27, no. 29, 2020, doi: 10.1007/s11356-020-09716-x.
- [5] A. A. Dugdug, S. X. Chang, Y. S. Ok, A. U. Rajapaksha, and A. Anyia, “Phosphorus sorption capacity of biochars varies with biochar type and salinity level,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 25, no. 26, pp. 25799–25812, Sep. 2018, doi: 10.1007/s11356-018-1368-9.
- [6] C. Amoah-Antwi, J. Kwiatkowska-Malina, S. F. Thornton, O. Fenton, G. Malina, and E. Szara, “Restoration of soil quality using biochar and brown coal waste: A review,” *Science of the Total Environment*, vol. 722. Elsevier B.V., p. 137852, Jun. 20, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137852.
- [7] B. Debska, A. Maciejewska, and J. Kwiatkowska, “The effect of fertilization with brown coal on Haplic Luvisol humic acids,” *Rostl. Vyroba*, vol. 48, no. 1, pp. 33–39, 2002, doi: 10.17221/4203-pse.
- [8] B. K. Saha, M. T. Rose, V. Wong, and T. R. Cavagnaro, “Brown coal-urea blend for increasing nitrogen use efficiency and biomass yield,” 2016.
- [9] A. Piccolo, G. Pietramellara, and J. S. C. Mbagwu, “Reduction in soil loss from erosion-susceptible soils amended with humic substances from oxidized coal,” *Soil Technol.*, vol. 10, no. 3, pp. 235–245, Mar. 1997, doi: 10.1016/S0933-3630(96)00123-7.
- [10] B. K. Saha, M. T. Rose, V. N. L. Wong, T. R. Cavagnaro, and A. F. Patti, “Nitrogen Dynamics in Soil Fertilized with Slow Release Brown Coal-Urea Fertilizers,” *Sci. Rep.*, vol. 8, no. 1, p. 14577, Dec. 2018, doi: 10.1038/s41598-018-32787-3.
- [11] T. Raychev, S. Popandova, G. Józefaciuk, and M. Hajnos, “Physicochemical reclamation of saline soils using coal powder,” *Int. Agrophysics*, vol. 15, pp. 51–54, 2001.
- [12] S. B. Dilk, “Agronomic evaluation of leonardite on yield and chemical composition of canola and wheat,” 2002, Accessed: May 23, 2019. [Online]. Available: <https://mspace.lib.umanitoba.ca/xmlui/handle/1993/7338>.
- [13] A. Patel and A. Patel, “Soil stabilization,” *Geotech. Investig. Improv. Gr. Cond.*, pp. 19–27, Jan. 2019, doi: 10.1016/B978-0-12-817048-9.00003-2.
- [14] A. M. Mahdy, “Comparative Effects of Different Soil Amendments on Amelioration of Saline-Sodic Soils,” 2011. Accessed: May 23, 2019. [Online]. Available: [https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/11\\_2011-SWR.pdf](https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/11_2011-SWR.pdf).

## 8. PERSPECTIVAS

Como se comentaba, aunque los ensayos del proyecto han sido extensos para poder abordar el mayor número de variables y tipologías de cultivos y suelos, es preciso dar continuidad a estas investigaciones para validarlas en al menos 3 campañas más, siguiendo de cerca si en las campañas siguientes se confirman estas tendencias identificadas, a fin de acotar sus efectos en el tiempo si fuera el caso.

El carbón mineral puede jugar un papel en la fabricación de fertilizantes minerales, pudiendo ser sustituido total o parcialmente los inertes que se emplean actualmente que son arcillas, por carbón mineral, ya que los efectos que se han comprobado en el mantenimiento a final de cultivo de un mayor contenido de fósforo asimilable puede ser una estrategia mas para la mejorar la eficiencia del fósforo en la agricultura. Suponiendo que se incorporase un 5% de carbono de origen de carbono mineral en las fórmulas de fertilizantes, esto supondría el consumo de 19050 toneladas de carbón, que supone en datos del 2014 de extracción de carbón mineral, un 2% del carbón extraído en las cuencas de CyL, pudiendo así dar una alternativa económica al sector minero, desligado del energético.

## 9. DIVULGACIÓN

### 9.1. Logotipo

Se ha realizado un logotipo que represente la idea del proyecto, uniendo el sector de la extracción del carbón mineral con el cultivo de plantas, ligándolo con una imagen de sostenibilidad marcado por el verde, y con un simbolismo de viejo túnel que ilustre y haga referencia a una extracción en túnel, alejada de a cielo abierto que tiene mas impacto. Lo que se pretende es dar una imagen de sostenibilidad.



Se han realizado carteles con la referencia del proyecto y el logo para colocarlos en cada ubicación de los ensayos (Figura 22).



Figura 22. Detalle de cartel de AGROMINA en Magaz de Pisuerga y Palencia

### 9.2. Grupo focal. Debate técnico y socioeconómico de los resultados

El grupo focal o “Focus Group” es una técnica de investigación cualitativa. Un grupo focal consiste en una entrevista grupal dirigida por un moderador a través de un guion de temas o de entrevista. Se busca la interacción entre los participantes como método para generar información.

El grupo focal estuvo formado por los siguientes grupos de personas (Figura 23):

- Sector minero. Se invito a 4 profesionales relacionados con el sector minero, con las actividades extractivas. Solo pudo acudir a la reunión virtual un ingeniero de minas.

- Sector agrícola. Se invito a participar a 4 profesionales agrícolas vinculados a la actividad agraria. Asistieron, un técnico de la Coop. AGROPAL, un técnico de compraventa de cereales, dos agricultores
- Sector académico, Asistieron a la reunión profesores, doctores y catedráticos de la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de la Universidad de Valladolid: 4 personas, con experiencia de investigación en edafología y agronomía.
- Sector público. Se incito a participar a varios alcaldes de la comarca de la montaña palentina que tuvieran explotaciones mineras, además de algún responsable de la Junta de Castilla y León en el área de política de desarrollo rural. En este caso no se pudo contar con ningún representante de este sector, optando por eliminar este grupo de la dinámica del grupo focal.



Figura 23. Sesión online de Grupo Focal

En la Figura 24 se muestra la estructura de interacción dentro del focus group, indicar que esta fue online a través de la plataforma Zoom y con el uso de plantillas de Excel en la nube que se compartieron para que cada agente interviniese en la dinámica.

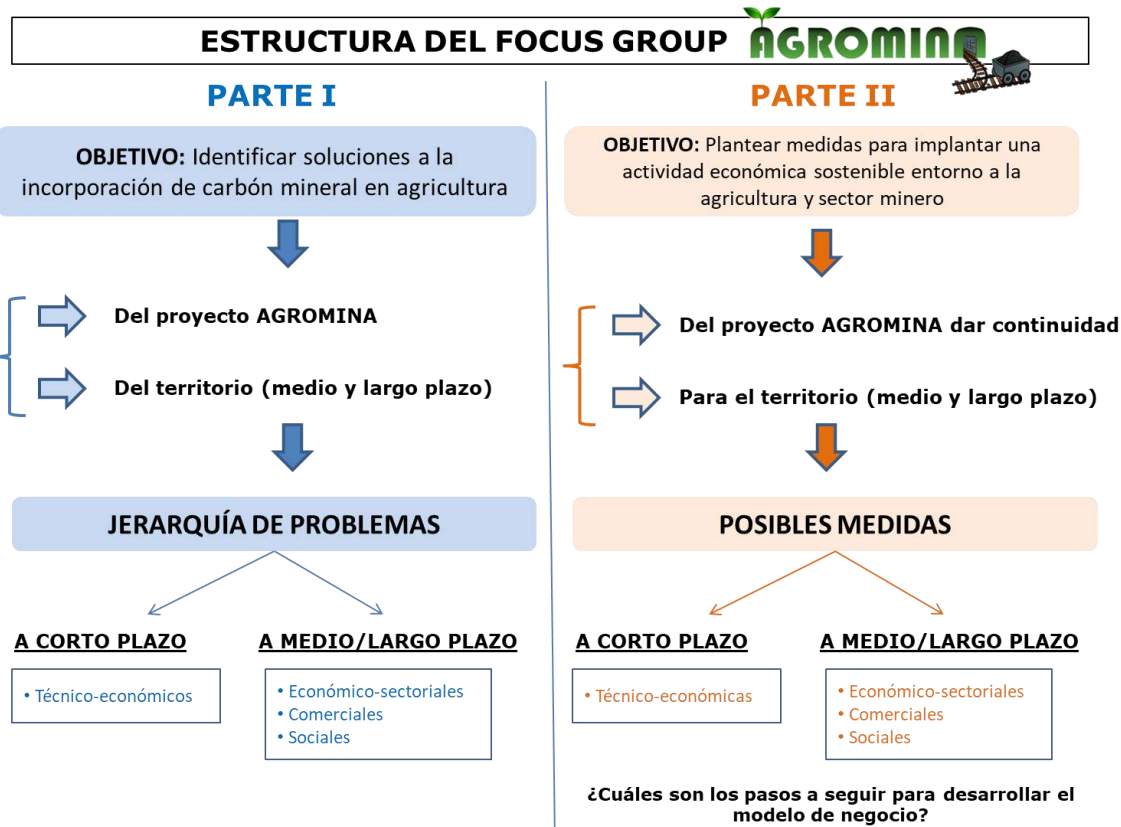


Figura 24. Estructura de interacción en el grupo operativo

Del análisis de los resultados se obtuvo que:

- Sector agrícola.
  - Los agricultores valoran más que se desarrolle mas investigación en el uso del carbón.
  - Los técnicos del fertilizante que se evalúen la idoneidad de mezclar carbón con los diferentes fertilizantes minerales
  - Los almacenistas de grano e industria molturadora, que se evalúe los parámetros panaderos si se ven afectados.
  - En termino común evaluar el precio en el incremento de los fertilizantes que lleven el carbón mineral
- Sector minero.
  - Que se evalúen los residuos de los escombros mineros como materia para incorporar a la agricultura.
  - Que se establezcan ayudas para la reconversión del sector minero para estos usos

- Sector académico.
  - Que se establezcan ensayos a varios años para que se evalué la interacción en el suelo
  - Que se realice una caracterización mas exhaustiva en cuanto otros factores edafológicos: materia orgánica, textura, et., como interviene el carbón.

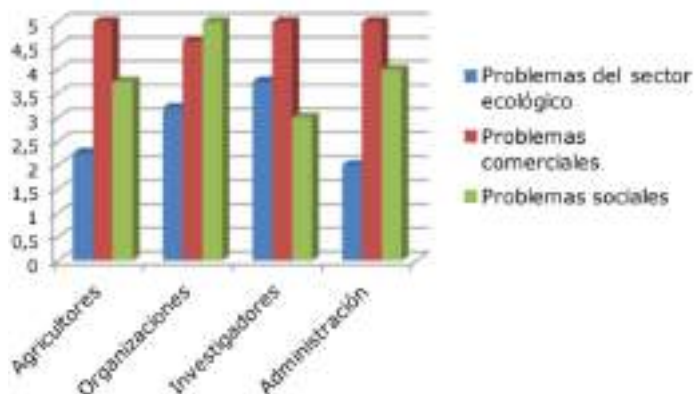


Figura 25. Ponderación de problemas para la incorporación de este proyecto en el plano comercial.

Se analizó para cada sector que pesa mas para que acepten esta solución de incorporar carbón en el plano ecológico, comercial y social, teniendo una visión diferente por sector que se muestra en Figura 25.

### 9.3. Jornada de difusión

Para la difusión del proyecto y la transferencia de resultados se previeron varias actividades con el objetivo de realizar la divulgación entre la comunidad científica, y los profesionales del sector agrario y minero.

Para la difusión del proyecto entre diferentes agentes del sector agrario, como son agricultores, técnicos agrícolas, empresarios agrarios, estudiantes de ingenierías agrarias, etc., se organizó una jornada, que, dada las circunstancias derivadas de la pandemia, decidimos realizar online. En esta jornada participaron cerca de 40 personas, y se presentó la metodología seguida para llevar a cabo el proyecto y los resultados obtenidos. La jornada fue promocionada a través de las redes sociales, donde quedó registrado el amplio número de personas que siguieron el evento.



La jornada de divulgación, al realizarse online fueron grabadas y posteriormente se subieron a la plataforma "Youtube" para, de este modo, poder ser visualizado por todas aquellas personas interesadas. ([acceso a evento grabado](#))

## 9.4. Medios de comunicación

### 9.4.1. Radio

También se realizó una intervención en un programa de radio. Concretamente en el programa "Ser minero" que emite la Cadena SER de la provincia de León (Figura 26), al cual fuimos invitados debido al gran interés inicial que presentó el proyecto en el sector minero. En dicho programa, participamos en una entrevista cuya finalidad era conocer los objetivos y la metodología que se iba a seguir para desarrollar el proyecto.



Figura 26. Enlace a entrevista en la radio: [https://cadenaser.com/emisora/2020/06/01/radio\\_leon/1591004735\\_790822.html](https://cadenaser.com/emisora/2020/06/01/radio_leon/1591004735_790822.html)

### 9.4.2. Medios impresos técnicos

Otro medio de divulgación empleado ha sido la elaboración de artículos técnicos sobre los objetivos y resultados, los cuales ya han sido enviados a revistas especializadas del sector. Concretamente el artículo se va a divulgar a través de las revistas "Tierras" (<https://laagriculturadigital.com/tierras/>), "Vida Rural" (<https://www.agronegocios.es/vida-rural/>) y Ag (<https://agrural.es>).

En este caso se adjuntan las notificaciones de recibo del artículo y la confirmación por parte de las redacciones de mencionadas revistas la publicación en las próximas semanas de octubre-noviembre de los artículos.

### 9.4.3. Medios impresos generales

En el mes de agosto ya con los primeros resultados se contactó a una periodista que escribe para el suplemento "Mundo Agrario" del diario "El Mundo de Cyl", se prevé su publicación en el mes de octubre del 2020.

## 9.5. Redes sociales

Para completar la difusión del proyecto, y dotar su divulgación de la mayor extensión posible, han sido numerosas las publicaciones realizadas a través de nuestras redes sociales (Facebook, Twitter, Instagram, LinkedIn), en relación con las actividades que se iban realizando a medida que se iba desarrollando el proyecto. Publicaciones que recibieron un gran número de visitas (Tabla 4) sumando 9218 alcances en las diferentes redes sociales monitorizadas. Adjunto a este documento presentamos varios pantallazos de algunas de nuestras publicaciones en redes sociales (Figura 27, Figura 29, Figura 28, Figura 30, Figura 31).