



---

**Universidad de Valladolid**  
**Campus de Palencia**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

**Titulación**  
**Grado en Enología**

**CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS  
DE VID TRANSFORMADOS EN  
BIOCHAR**

Alumno/a: María Curiel Fernández

Tutora: Olga López Carcelén  
Directora: Teresa de los Bueis Mellado

Junio del 2016

# INDICE

<b>1. RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
2.1. Biomasa lignocelulósica	2
2.2. Características del biochar	2
2.3. Biochar en la actualidad	4
2.4. Biochar compostado	4
<b>3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS</b>	<b>5</b>
<b>4. MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>6</b>
4.1. Material procedente de la industria vitivinícola	7
4.2. Maderas de otras especies	7
4.3. Material activado	7
4.4. Metodología	8
4.4.1. Preparación de las muestras	8
4.4.2. Realización de las pirólisis	8
4.4.3. Autoanalizador LECO	9
4.4.4. Método para pH y conductividad	9
4.4.5. Determinación de cenizas	10
4.4.6. Determinación de fósforo	10
<b>5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>10</b>
5.1. Certificados	11
5.2. Diferencias entre material vegetal natural de partida y material pirolizado en laboratorio	12
5.3. Características del biochar obtenido en campo y laboratorio a partir de un mismo material vegetal: sarmientos de vid	13
5.4. Caracterización de residuos vitícolas pirolizados en laboratorio con temperaturas controladas	15
5.4.1. Efecto de las temperaturas	15
5.4.2. Efecto de los diferentes residuos vitícolas de partida	18
5.5. Características del biochar procedente de residuos de otras especies vegetales: pino y encina	21
5.6. Características del biochar compostado y sin compostar	23
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>24</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>26</b>

## 1. RESUMEN

La industria vitivinícola produce una cantidad de residuos, en lo que se refiere a restos de madera de poda y otros materiales lignificados, que requieren de una gestión para retirarlos o transformarlos de forma rápida, ya que pueden suponer una incomodidad en las parcelas a la hora de realizar las labores del viñedo y trabajos en la bodega. Todos estos restos de biomasa pueden ser transformados mediante un proceso conocido como pirólisis, que es una carbonización que se ha realizado desde antiguo en algunas zonas de cultivos en campo, pirólisis hechas con maquinaria más pequeña para poder llevarla a cabo en la misma parcela o sistemas más complicados cerca de la bodega. Este proceso de carbonización consiste en quemar esos restos en poca presencia o ausencia de oxígeno, y transformarlos en biocarbón o biochar.

El biochar tiene diversas aplicaciones, muchas de las cuales están aún en proceso de investigación y estudio, donde se considera importante la aplicación en suelos para su mejora.

En este trabajo se van a caracterizar diferentes tipos de biochar obtenidos a través de distintos materiales considerados residuos en la industria vitivinícola, con lo que se puede realizar una gestión eficiente de los mismos y además obtener un producto con unas características determinadas que puede ser utilizado para enmiendas orgánicas y conseguir la mejora del suelo.

## 2. INTRODUCCIÓN

El biochar, es una palabra inglesa cuyo término en español todavía no ha sido reconocido por la R.A.E. y sería traducido como biocarbón (aunque en este trabajo se va a emplear el término en inglés), y es el material carbonizado de fino granulado y poroso, obtenido después de someter la biomasa de un determinado material a un proceso de pirólisis en un ambiente con un contenido en oxígeno muy bajo o nulo.

La principal propiedad que caracteriza el biochar es su alto contenido en carbono. La materia prima procedente de biomasa que se puede emplear para la obtención de biochar es muy diversa, pueden ser maderas, estiércoles y residuos de cultivos. En consecuencia las propiedades que posea el material después de sufrir las pirólisis, según (Lehmann *et al.*, 2006), están directamente relacionados con las propiedades iniciales de la biomasa que proceden.

La selección de las materias primas, la optimización de la tecnología de pirólisis (duración, temperatura y tiempo) y los ajustes para producir biocarbones son factores a ser considerados para obtener las características deseadas en los mismos. (Moreno-Barriga *et al.*, 2015). Estos factores que se han nombrado, son los que determinan las diferencias que existen en los productos obtenidos tras la pirólisis.

El carbono que se encuentra en el biochar, es un carbono muy estable y difícilmente degradable por los microorganismos, lo que indica que puede permanecer durante largos periodos de tiempo en el suelo aunque en el biochar existe otra fracción degradable de carbono que dura menos tiempo (Sohi *et al.*, 2009).

### 2.1. Biomasa lignocelulósica

Este tipo de materia prima es la que se encuentra en los restos de cultivos, maderas y en lo que respecta a este trabajo, a los restos de poda y residuos derivados del viñedo incluyendo también otros residuos agrícolas, para la creación de biochar.

La biomasa lignocelulósica está formada por tres componentes principales que son la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. Estos componentes pueden presentarse en diferentes cantidades, muy variables, en función del tipo de madera, de la especie de la que proceda, del tipo de suelo y de las condiciones climáticas que ha tenido durante su crecimiento así como del momento en el que se ha recogido, ya que en el caso de los restos de poda y residuos procedentes de la industria enológica, pueden variar muchísimo debido a las fechas de vendimias para la obtención de los raspones, las variedades de vid, el momento en que se realiza la poda... Esto se debe a que la vid, durante su ciclo biológico, no posee los mismos nutrientes ni la misma relación de ellos. Por ejemplo, a partir del envero las plantas de vid comienzan la acumulación de azúcares por tanto aumentan su contenido en sustancias carbonadas, durante la maduración aumenta el peso de las cenizas y su alcalinidad, y en lo que respecta a su crecimiento la vid aumenta la cantidad de nitrógeno que posee hasta alcanzar los niveles más altos en la maduración (Hidalgo *et al.*, 2011).

La celulosa, la hemicelulosa y la lignina son compuestos diferentes estructuralmente, por ello cada uno se descompone a diferentes temperaturas. La lignina es el componente más complicado de descomponer térmicamente, entre 280-500°C y la hemicelulosa el que se descompone de manera más fácil, entre 200-260 C.

Los mejores materiales para tener un mayor rendimiento en la producción de biochar son los procedentes de biomasa leñosa, ya que los rendimientos en contenido de carbón son mayores con alta cantidad de lignina.

## 2.2. Características del biochar

El biochar es un subproducto valioso debido a dos características que posee, que son su alta capacidad para retener nutrientes y su alta estabilidad, destacando además beneficios medioambientales como la mejora de los suelos, la mitigación del cambio climático y la reducción de la contaminación ambiental. La materia prima tiene un papel fundamental en la determinación de disponibilidad de nutrientes del biochar obtenido y del secuestro de carbono (Gaskin *et al.*, 2008).

Respecto a la mejora de los suelos, el biochar adicionado al suelo puede conllevar una serie de ventajas como la mejora de la fertilidad (Jeffery *et al.*, 2011) o un incremento de la retención del agua debido a su composición química (Ennis *et al.*, 2012). Esto se debe a que el biochar disminuye de manera significativa la densidad aparente del suelo y da lugar a una mayor disponibilidad de agua (Paco *et al.*, 2012). De esta manera se evita el lavado de nutrientes ((Liu *et al.*, 2012) mejorando la disponibilidad de los mismos para las plantas (Major *et al.*, 2010).

Las enmiendas orgánicas que se aplican a los suelos se realizan con el fin de mejorar, desde un punto de vista físico, la estructura de los suelos, repercutiendo en una mayor permeabilidad tanto al agua como a la aireación, reduciendo los problemas de erosión. Desde un punto de vista químico se pretende incrementar la capacidad de cambio de los suelos de cara a una mayor reserva de nutrientes. Los efectos que pueda proporcionar el biochar a los suelos, dependen de su interacción con la materia orgánica y otros componentes del suelo (Kimetu *et al.*, 2008).

El biochar tiene un efecto positivo sobre suelos con distintas características según (Jeffery *et al.*, 2011) siendo capaz, por ejemplo, de mejorar suelos ácidos aumentando su pH, afectando también a la producción de los cultivos. El biochar puede aumentar el pH de los suelos, el carbono orgánico y el nitrógeno total, además de otros elementos como fósforo y potasio (Pandey *et al.*, 2016) y es capaz de aumentar la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Major *et al.*, 2010).

El carbono, nitrógeno y los otros nutrientes que se proporcionan con la adición de biochar, benefician a la flora microbiana del suelo y este cambio sobre los microorganismos provoca un efecto directo sobre el crecimiento de las plantas de cultivo mejorándolo. Una parte importante de las plantas para su desarrollo, son las raíces, las cuáles con la adición de biochar se estimulan y adquieren mayor número pudiendo introducirse fácilmente en los poros que proporciona el biochar en el suelo con los cambios físicos (Lehmann *et al.*, 2011). Los nutrientes proporcionados por el biochar, hacen que los microorganismos puedan desarrollarse más fácilmente y existir poblaciones microbianas variadas que influyan en los ciclos de nutrientes del suelo. Los ciclos de nitrógeno, fósforo y carbono que ocurren en los suelos, pueden verse afectados de manera beneficiosa o perjudicial en función de la naturaleza de la biomasa de la que procede el biochar y también de las temperaturas de pirólisis a las que se ha realizado (Mukherjee *et al.*, 2013). Estudios realizados sobre suelos vitícolas (Mackie *et al.*, 2015) han demostrado que la adición de biochar aumenta la actividad microbiana del suelo hasta 20 meses después de dicha aplicación, lo cual es beneficioso para los ciclos de nutrientes.

Respecto a la mejora de los suelos, el biochar puede tener efectos en plantas y suelos contaminados por su capacidad de reducir considerablemente la concentración de pesticidas añadiendo un pequeño porcentaje de biochar a los suelos (Jin *et al.*, 2016). También cabe destacar su efecto sobre los metales pesados, pudiendo reducir la acumulación de algunos de ellos como Cd y Pb (Xu *et al.*, 2016) y además disminuir su concentración gracias a las mejoras de pH que reducen la movilidad de los metales pesados. En viñedo se dan muchos tratamientos de fitosanitarios que contienen cobre en su composición. La acumulación de cobre tiene efectos perjudiciales en los suelos (Mackie *et al.*, 2012) y hay autores que afirman que el cobre puede ser adsorbido por los coloides de los suelos de forma que su absorción por las plantas se reduce con adiciones de biochar (Borchard *et al.*, 2012).

Además de las enmiendas que se pueden realizar sobre suelos dedicados a la agricultura, puede hacerse una mejor gestión de los recursos que se utilizan (agua, nutrientes...) para dicha actividad (Glaser *et al.*, 2002), ya que mejora los ecosistemas. En lo que respecta a la agricultura puede ayudar a combatir el cambio climático. El biochar permite una agricultura sostenible (Singh *et al.*, 2015) e

incrementa el secuestro de carbono en el suelo por su poder recalcitrante. El producto que se obtiene de la pirólisis es muy rico en carbono y parte del mismo se mantiene durante largos períodos de tiempo (Lehmann *et al.*, 2009). Según Rondon *et al.*, (2005), el biochar tiene efectos de reducción en las emisiones de  $N_2O$  y  $CH_4$  de manera que puede modificar las emisiones de los gases con efecto invernadero. Este aspecto de mitigación del cambio climático es importante porque *The International Biochar Initiative* (IBI) establece que el nombre de “biochar” se aplique a los productos ricos en carbono que aplicados en el suelo participen en el secuestro de carbono.

En los viñedos, hay estudios realizados sobre los efectos de adición de biochar en suelos dedicados a este cultivo y se han observado beneficios derivados de las características que se han determinado en este apartado. El biochar puede reducir el estrés hídrico de las plantas de vid y además influye en el rendimiento del viñedo aumentándolo sin disminuir la calidad de las uvas (Genesio *et al.*, 2015). También aumenta la concentración de nutrientes por lo que se recomendaría adicionarlo cerca de las raíces y por su efecto con pesticidas, herbicidas y materiales pesados podría recomendarse para la viticultura ecológica (Schmidt *et al.*, 2014).

### 2.3. Biochar en la actualidad

El proceso de obtención de biochar está bastante desarrollado en la actualidad pero aún existen muchos aspectos que se desconocen y por tanto, queda labor investigadora por realizar en relación a su uso como enmienda de suelos. ,

Hay que añadir también que existe la desventaja de la inexistencia de una política para establecer un mercado con este producto.

Dentro de la utilización de biomasa calcinada, existen ya algunas bodegas de Castilla y León que están realizando quemas de sarmientos de poda y añadiéndolos a los suelos para hacer una gestión de residuos que eviten la transmisión de enfermedades a los viñedos. En Cataluña es una técnica para las bodegas que está también en fase de experimentación.

### 2.4. Biochar compostado

El biochar también puede emplearse para elaborar otros productos mediante sus diferentes mezclas con estiércoles y otros restos orgánicos. Actualmente hay autores que han empezado la investigación de la mezcla de biochar con residuos compostados. Se ha observado que el carbono contenido en esa mezcla sea más estable (Jindo *et al.*, 2012b) e influye también en la composición de la flora microbiana existente en el suelo (Jindo *et al.*, 2012a) estimulando los microorganismos (Schulz *et al.*, 2013). Este último autor ha sido uno de los que han estudiado el efecto del biochar activado, y han observado que se incrementan los contenidos en carbono, nitrógeno y fósforo del suelo y además el biochar es capaz de estabilizar los agregados.

### 3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

La motivación principal por la que se realiza este estudio se debe a los residuos que se producen en la industria enológica, pero sobre todo en el viñedo.

Los viticultores en sus labores habituales como son por ejemplo las labores en verde (despuntos, desnietados, aclareos), la eliminación de vides que tienen enfermedades irremediables como la yesca y hay que arrancar y la poda de invierno, donde se eliminan los sarmientos crecidos del año anterior e incluso brazos enteros o trozos cuando se hace renovación de los mismos en una planta de vid, generan ciertos residuos que hay que gestionar de manera rápida en las parcelas. Dentro de las bodegas los raspones y hojas que se eliminan en la recepción de la uva al realizar la selección manual de racimos o su despallado, suponen también residuos molestos que pueden interferir en las actividades. Estos residuos, causan un estorbo en las parcelas donde está establecido el viñedo, ya que incomodan la realización de las labores posteriores, bien por trabajo a mano, que molestarían a los trabajadores o bien a las máquinas dedicadas a estas labores.

Además de causar la incomodidad de las labores del viñedo, los restos de madera de vid en un viñedo pueden causar una propagación de enfermedades. Esto ocurre principalmente si la madera que se ha dejado en un viñedo fue infectada por hongos, lo que sería una enfermedad criptogámica donde se destacan las siguientes:

- Mildiu, que si se desarrolla puede tener graves consecuencias en el viñedo si las condiciones climáticas son favorables
- Oídio es otra de las enfermedades más frecuentes, está extendida por toda España, el inicio de esta enfermedad ocurre en las yemas que ya estarían contaminadas que sería el ciclo asexual o bien en las peritecas que se sitúan en los sarmientos.
- “Black Rot” también conocido como podredumbre negra, que permanece en peritecas invernantes en los sarmientos de las cepas los cuales al ser podados y restar en el viñedo pueden contagiar esta enfermedad
- Eutipiosis es otra enfermedad cuyo protagonista es un hongo y reside en madera muerta y atacada mediante ascosporas permaneciendo durante largos periodos de tiempo,
- Excoriosis se desarrolla mediante picnidios que permanecen en madera necrosada del año anterior.

En resumen, los restos de poda o madera vieja que puedan quedar en el suelo de la parcela donde hay cultivado un viñedo, pueden propagar diversas enfermedades a éste, además de poder ser un foco de contaminación para los viñedos que se sitúan próximos.

Sin embargo, los restos de poda, a veces son gestionados de manera que se aporte al suelo materia orgánica y de una cierta manera devolver, en la medida de lo posible, lo que las plantas han ido sustrayendo para su ciclo y para la producción. Esto consiste en picar o triturar los restos de poda mediante máquinas especializadas y adicionarlos

posteriormente. Este proceso resulta es beneficioso para el suelo, ya que se recupera el contenido de materia orgánica, pero hay que tener en cuenta que sigue existiendo el riesgo de las infecciones y propagación de enfermedades, ya que triturar la madera no es una lucha contra dichas enfermedades y además su dispersión por el viñedo podría ser un medio de propagación de las mismas.

Los objetivos de este estudio son los siguientes:

- Caracterizar los residuos vitícolas y sus productos pirolizados.
- Comprobar si el subproducto obtenido en la pirólisis cumple los requisitos determinados en *European Biochar Certificate (EBC)* y *The International Biochar Initiative (IBI)*.
- Observar y comprobar las diferencias existentes entre un mismo material a diferentes temperaturas.
- Valorar las diferencias en los parámetros analizados de los distintos materiales a la misma temperatura.
- Comparar entre los parámetros analizados de los materiales procedentes de vid y otros materiales procedentes de madera de encina y de pino.
- Determinar los efectos que tiene la activación del biochar mezclado con residuos compostados.

## 4. MATERIAL Y MÉTODOS

### 4.1. Material procedente de la industria vitivinícola

Estos residuos se obtuvieron en una finca de Aranda de Duero (Burgos) situada en Gumiel del Mercado dentro de la Denominación de Origen Ribera de Duero. La parcela tiene 13,56 ha dedicadas al cultivo de viñedo cuya variedad plantada es tinto fino de la que emplea 15 clones diferentes. Los patrones utilizados en el terreno son 41B, 110R, 140Ru, 1103P. La producción media de la parcela es de 3200 kg/ha.

En cuanto a la caracterización del suelo las texturas varían entre arcillosa fina y arcillosa gruesa según International Society of Soil Science (ISSS). Los suelos son básicos (valores de pH entre 8,3 y 8,7) y su contenido en carbonatos es alto (del orden del 38% en la mayoría de la parcela encontrándose valores muy altos entre 51-71% en determinadas zonas).

El contenido en materia orgánica es muy bajo (inferior al 0,7% excepto algunas zonas que llegan al 1,3%) y los niveles de fósforo total son también muy bajos (menos de 10 ppm en la mayor parte de la parcela).

El viticultor que gestiona esta parcela está realizando en campo la quema controlada de sarmientos en un hoyo de aproximadamente 1m<sup>2</sup> controlando las brasas tapando con la tierra extraída. Este viticultor, por tanto nos demostró su interés según sus propias palabras por:

- La necesidad de realizar un manejo de restos de poda que permita su incorporación al suelo, sin la posible aparición de plagas que pueda conllevar.
- La conveniencia de mejorar este tipo de suelos de uso vitícola
- El interés práctico que en ambos aspectos puede suponer el tratamiento de carbonización en Ribera de Duero.



Los materiales que se han recogido son los siguientes:

- Raspones, obtenidos como residuo de la recepción de la uva en la bodega, lo que sería el comienzo de elaboración del vino, al eliminar el raspón unido a la uva mediante despalillado o realizado a mano. Estos raspones han permanecido al aire libre hasta que se han recogido para la realización de este trabajo.
- Sarmientos, procedentes de la poda de invierno.
- Madera de más de dos años, material que se obtiene de los brazos que se han eliminado en la poda por renovación, presencia de plagas o enfermedad.
- Madera vieja procedente de cepas que se han arrancado por enfermedad, presencia de plagas o ataques fúngicos.

#### **4.2. Maderas de otras especies**

El grupo de investigación del Área de Edafología y Química agrícola me propuso analizar otros restos de biomasa procedentes de otras especies vegetales (encina y pino) que se habían pirolizado en otros trabajos para comparar los resultados obtenidos con los restos de viñedo.

Otro material que puede servir también para la elaboración de biochar son los residuos forestales. Estos residuos pueden proceder de tratamientos selvícolas como clareos y podas de cultivos leñosos. Normalmente estos residuos suelen destinarse a combustible, industrias de madera e incluso alimentación animal.

En este trabajo, se van a utilizar restos de madera procedentes de esos residuos para elaborar biochar, caracterizarlo y compararlo con los residuos de vid. Esos materiales fueron:

- Madera de encina
- Madera de pino

#### **4.3. Material activado**

En muchas ocasiones se anima a incorporar en campo el biochar activado, es decir biochar mezclado y mantenido un tiempo con otro tipo de residuos que se han compostado previamente. De esta forma se incrementan los contenidos de nitrógeno y fósforo del biochar que en principio son bajos.

.El material activado se ha obtenido de pilas, siendo en las tres pilas una mezcla de biochar con diferentes estiércoles compostados:

- Pila 1: estiércol de bovino con biochar
- Pila 4: estiércol de ovino con biochar
- Pila 7: gallinaza con biochar

El biochar de partida es el mismo y los tiempos en los que se fue añadiendo a las pilas de estiércol fueron diferentes. Pueden existir efectos de almacenamiento debidos a la humedad. A la pila 1 se adicionó al cabo de un mes, a la pila 4 dos meses y a la pila 7 tres meses. Durante ese tiempo, debido al cambio de las condiciones, la mezcla puede haber cambiado su composición y variado sus propiedades.

#### **4.4. Metodología**

##### **4.4.1. Preparación de las muestras**

Se utilizaron restos de raspones de la vendimia del 2015, sarmientos y brazos de una cepa que se quitaron con la poda de este mismo año y cepas viejas arrancadas del viñedo porque estaban muertas afectadas por diversas enfermedades y plagas como carcoma, Tornillo de la vid (*Xylotrechus Arvícola*) y hongos.

Se identificaron las bolsas correctamente y como herramienta se utilizaron unas tijeras de poda. Los raspones se extendieron en una mesa y para seleccionar muestras representativas se actuó de la siguiente manera:

- Se seleccionaron raspones de manera aleatoria de todas las zonas.
- Se cortó primero el escobajo y pedúnculo en trocitos de aproximadamente 1 cm y se puso cada uno de los trozos en cada bolsa de muestra.
- Los pedicelos se recogieron y se distribuyeron en las diferentes bolsas de manera homogénea.

Se prepararon muestras de 8,5 gramos aproximadamente para que, tras la pirólisis, quedara material suficiente para la realización de los análisis.

Respecto a los sarmientos, se seleccionaron trozos de sarmiento en torno a 1 cm y se hicieron muestras lo más representativas posibles de todos los restos de sarmientos disponibles. Se cortaron con unas tijeras de poda y se mezclaron tanto los nudos como los entrenudos.

Con los brazos y las cepas muertas arrancadas, se tuvieron que emplear unas tijeras de poda más grandes y una sierra para hacer trozos más pequeños y poder seleccionar muestras representativas de todo el material disponible.

##### **4.4.2. Realización de las pirólisis**

Las muestras que se prepararon para la pirólisis, se colocaron en unos crisoles aptos para su introducción en la mufla la cual posee una capacidad de 8 litros aproximadamente (7,920 litros). El procedimiento fue el siguiente:

- En primer lugar se identificó cada crisol con el nombre de la muestra. Posteriormente se utilizó una balanza con tres decimales para registrar el peso del crisol, ya que hay variaciones entre todos ellos. Este peso sirve para la determinación de masa pirolizada.
- Se taró la báscula y se añadió la muestra en el crisol. Se anotaron los pesos de cada muestra. Estos pesos se emplearon para los cálculos sobre la relación entre la masa inicial y final después del proceso de pirólisis.

Antes de poner la mufla y las muestras todos los días se comprobó que el flujo de nitrógeno fuese similar para que la pirólisis se realizase en condiciones similares. El flujo fue de 0,83 litros/min. Se introdujeron las muestras sin las tapas en la mufla, colocadas siempre de la misma manera, y se conectó el flujo de nitrógeno para crear una atmósfera de este gas.

La corriente de nitrógeno se mantuvo durante 20-25 minutos, y al cabo de ese tiempo se pusieron las tapas de manera cuidadosa para no introducir oxígeno en la mufla y se cerró. Se mantuvo otros 10 minutos el flujo de nitrógeno y se encendió la mufla a la temperatura deseada.

Las muestras permanecían una hora en la mufla desde que ésta alcanzaba la temperatura deseada.

Acabada la hora se apagaba la mufla, pero se mantenía el flujo de nitrógeno para evitar la entrada de oxígeno, el cual, a las altas temperaturas del experimento puede provocar reacciones indeseables. En función de la temperatura se mantenía el flujo de nitrógeno más o menos tiempo.

Una vez sacadas las muestras de la mufla, se añadieron en un mortero para su molido.

#### **4.4.3. Autoanalizador LECO**

La primera determinación que se llevó a cabo sobre las muestras fue el contenido en carbono, nitrógeno e hidrógeno, para lo que se empleó el autoanalizador LECO.

#### **4.4.4. Calibración del método para medición de pH y conductividad eléctrica**

Para la determinación del pH y la conductividad eléctrica, se ha seguido la guía "*Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar That Is Used in Soil*" (International Biochar Initiative 2012).

Se decidió calibrar el método empleando una misma muestra de materia pirolizada, para que tuviese las mismas propiedades a lo largo de la calibración y se probó con diferentes pesos que fueron 0,5 g, 0,3 g y 0,2 g y distintas suspensiones con agua destilada que fueron 1:10 y 1:20 (p:v).

También se realizaron las mediciones de dos formas diferentes:

- Mediante agitación manual de las muestras y 24h de reposo aproximadamente. En el líquido sobrenadante se determinó el pH y la conductividad eléctrica.
- Mediante agitación mecánica por volteo durante una hora y 1 hora y media de reposo. Como en este caso no existía sobrenadante se filtraron todas las muestras y se analizó el pH y la conductividad eléctrica.

Las conclusiones fueron que en ambas metodologías no existen grandes diferencias, por tanto debido a la pequeña cantidad de muestra que se posee y la necesidad de tener líquido suficiente para hacer las mediciones con el pHmetro y el conductímetro, se ha decidido emplear la dilución 1:20 y el peso de 0,3 g de muestra.

#### **4.4.5. Determinación de cenizas**

Las cenizas se determinaron mediante el método propuesto por Enders *et al.*, (2012) que consiste en la calcinación en mufla durante 8 horas a 550°C y posterior determinación del contenido en cenizas de la muestra.

#### 4.4.6. Determinación de fósforo

Se determinó por el método propuesto por Enders *et al.*, (2012) que después de probar cinco métodos diferentes encontró que el más preciso para la determinación del fósforo es el MDA (Modified Dry Ashes: cenizas secas modificadas).

Dicho método consiste en la digestión de las cenizas en microondas con HNO<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Para la digestión de las muestras se transfirieron cuantitativamente las cenizas a los tubos de microondas. Posteriormente se añadieron 7 ml de ácido nítrico y 1ml de peróxido de hidrógeno. La extracción en microondas se realiza durante 20 minutos a 180 °C.

Tras la digestión, se filtraron los extractos y se realizó la determinación de fósforo en dichos extractos. El método del ácido vanadomolibdico fue el seguido para la determinación colorimétrica del fósforo tal como se describe en Sparks *et al.*, (1996) Se trata de un método adecuado para el análisis de Pen muestras vegetales, ya que el biochar tiene un origen vegetal.

## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La discusión de estos resultados se ha estructurado en seis apartados:

- Un primer apartado en el que se evalúa si el material pirolizado obtenido en laboratorio cumple los estándares para su uso y comercialización como biochar con las certificaciones Europeas.
- Un segundo apartado donde se compara este material con el material de partida sin tratamiento (madera natural).
- Un tercer apartado donde se compara el biochar obtenido en campo con el obtenido en laboratorio.
- En el cuarto apartado se analiza el efecto de las temperaturas de pirólisis y los materiales vegetales de partida procedentes de residuos vitícolas.
- Un quinto apartado donde se compara el biochar procedente de residuos vitícolas con el biochar procedente de otros residuos agroforestales.
- En el sexto apartado se analizan las diferencias entre biochar activado y sin activar.

Para todos ellos se han realizado los análisis estadísticos y ANOVAs correspondientes.

### 5.1. Certificados

El Certificado Europeo Biochar (EBC) ha sido desarrollado bajo la dirección del Instituto Ithaka para convertirse en un certificado estándar voluntario que asegura la producción de biochar sostenible y minimiza el riesgo para los sistemas agronómicos.

El estándar de calidad premium de la EBC se convirtió en la base de la autorización en Suiza para el empleo de biochar en la agricultura. El biocarbón producido conforme a las normas de la EBC cumple todos los requisitos de la producción sostenible y presenta una huella de carbono positiva.

The *International Biochar Initiative* (IBI) pretende fomentar sistemas de obtención y uso de biochar que sean económicamente viables, seguros y eficaces para su empleo en enmiendas orgánicas del suelo que mejoren la fertilidad del mismo así como su utilización como herramienta de lucha contra el cambio climático. Promueve las buenas prácticas de las industrias y establece normas ambientales y éticas para la obtención de biochar. Asimismo, da información sobre las características que tienen el biochar y posee una política y normas que regulan la producción del biocarbón, su comercialización y su investigación.

Tabla 1. Caracterización del biochar obtenido en laboratorio con biomasa procedente de residuos vitícolas y en condiciones controladas. ( $T^a$ : temperatura de pirólisis; COT: C orgánico Total)

	$T^a$ (°C)	COT (%)	N (%)	H (%)	O (%)	H/C	O/C
Raspones	350	66,1	4,1	1,5	21,6	0,3	0,3
	500	72,2	2,7	1,4	15,5	0,2	0,2
	600	74,4	2,2	1,3	12,8	0,2	0,1
Sarmientos	350	69,0	4,1	1,1	21,2	0,2	0,2
	500	76,0	2,9	1,1	15,5	0,2	0,2
	600	79,5	2,5	1,2	11,5	0,2	0,1
Madera +2 Años	350	70,2	3,8	1,2	22,0	0,2	0,2
	500	77,8	2,8	1,2	14,4	0,2	0,1
	600	81,2	2,4	1,1	11,0	0,2	0,1
Madera Vieja	350	66,4	4,1	0,9	25,5	0,2	0,3
	500	72,9	2,9	0,9	18,7	0,1	0,2
	600	76,8	2,5	0,9	14,4	0,1	0,1

Como se muestra en la Tabla 1 y Figura 1, el contenido en carbono orgánico total (COT) es mayor a medida que aumenta la temperatura de pirólisis, abarcando valores desde el 66,1% hasta el 81,2%. Teniendo en cuenta los requisitos para una certificación del EBC, este producto sería clasificado como biochar ya que posee un contenido en carbono superior al 50% y según los criterios del IBI se clasificaría como biochar de primera clase ya que su contenido en carbono supera el 60%.

*The European Biochar Certificate* como *The International Biochar Initiative* (IBI), no establecen valores de referencia respecto al pH ni a la conductividad eléctrica.

Se han estudiado los ratios H/C y O/C. En el primero, el límite máximo impuesto por EBC es de 0,7. Los valores observados en el biochar estudiado se sitúan entre 0,1 y 0,3, no superando, por tanto, el límite establecido por EBC. En cuanto al ratio O/C, el límite establecido por EBC y por IBI es de 0,4. En el biochar objeto de estudio, se ha observado que el ratio O/C presenta mayor variabilidad con valores entre 0,1 y 0,3 y no supera tampoco los límites establecidos. Además, si comparamos estos ratios con

los parámetros propuestos por Enders *et al.*, (2012), el biochar que se ha obtenido tiene un alto potencial de secuestro de carbono.

Según la normativa establecida por EBC el producto obtenido sería calificado como biochar y cumpliría los requisitos impuestos y según el IBI sería biochar de primera clase y también cumpliría con las condiciones establecidas.

### 5.2. Diferencias entre material vegetal natural de partida y material pirolizado en laboratorio

Respecto al carbono orgánico total del material en campo (Tabla 2) todos ellos tienen un contenido en COT muy similar y muy parecido al realizado por Li *et al.*, (2016), pero dicho contenido se incrementa enormemente al realizar la pirólisis como puede comprobarse en la Figura 1.

Tabla 2. Contenido de carbono orgánico total en los materiales vegetales naturales sin pirolizar (maderas naturales).

	Raspones	Sarmientos	Madera +2 Años	Madera Vieja
<b>Carbono orgánico total (%)</b>	46,6%	46,2%	46,7%	47,5%

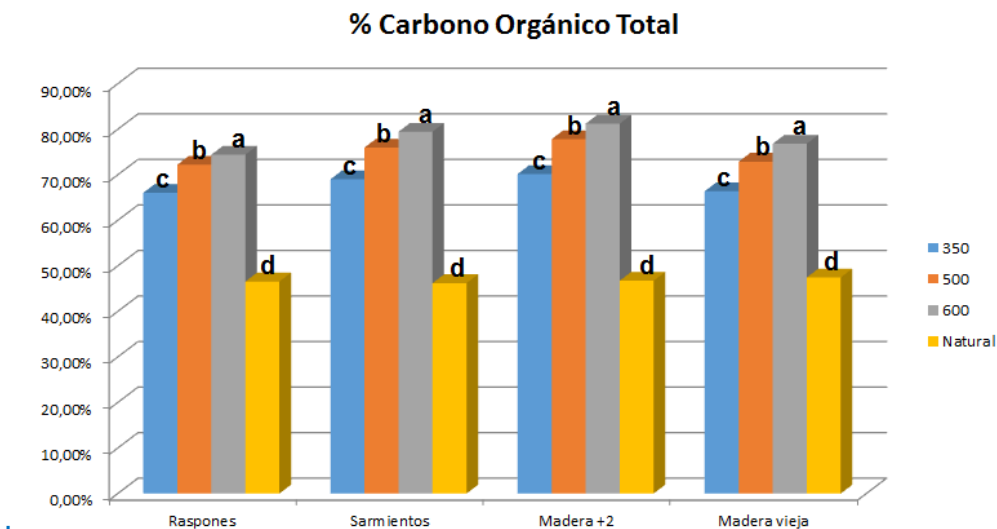


Figura 1. Contenidos medios en carbono orgánico total y resultados del test de rangos múltiples (LSD) considerando el material vegetal natural de partida y los materiales pirolizados a distintas temperaturas en laboratorio. Letras distintas indican diferencias significativas entre materiales.

Debido a las labores de retirada de restos de poda y su tratamiento en los viñedos, podría haber la posibilidad de realizar una mezcla de biochar procedente de la misma parcela, por la sencilla razón de evitar gastos a mayores, con restos que aún no se han retirado. De esta manera se ofrece al suelo un contenido en carbono importante procedente del biochar y de los restos de madera natural. Glaser *et al.*, (2002) indican además que este carbón inhibe parte del desarrollo bacteriano y fúngico con lo que se reduciría la posibilidad de expansión de enfermedades al viñedo procedentes de estos restos.

El nitrógeno del material vegetal natural es muy superior a los demás materiales abarcando valores entre 6,3 a 6,7%. Esto puede ser debido a que durante la realización de las pirólisis y aumento de las temperaturas, el nitrógeno contenido en la materia orgánica se volatiliza y los demás nutrientes se incrementan en contenido a medida que aumentan las temperaturas de pirólisis (Gaskin *et al.*, 2008). El hidrógeno es el que se presenta en menor cantidad y con menor variabilidad, con valores del 0,7% al 0,8%.

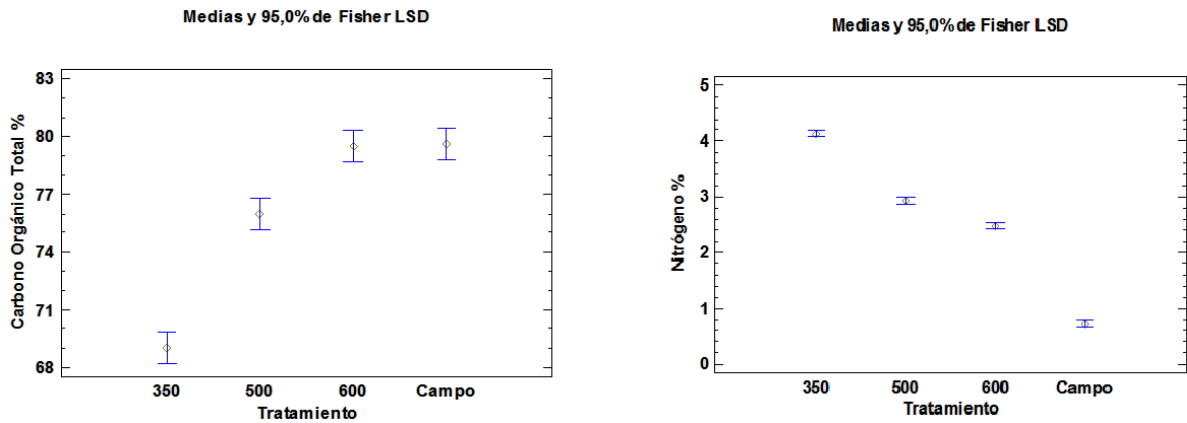
Los valores obtenidos se han comparado con datos bibliográficos sobre residuos procedentes de viñedo realizado por García *et al.*, (2012) y se ha observado que el contenido en carbono y nitrógeno es superior al presentado en la bibliografía mientras que el contenido en hidrógeno es bastante inferior. Esto puede deberse a la variabilidad de las características de las biomásas, en el caso de residuos vitícolas, según las condiciones en las que han sido cultivadas. El carbono puede ser más o menos estable mientras que lo que varía son los contenidos en hidrógeno.

### **5.3. Características del biochar obtenido en campo y laboratorio a partir de un mismo material vegetal**

Para ver las diferencias entre los materiales carbonizados en campo a una temperatura indeterminada y los materiales pirolizados en laboratorio en determinadas condiciones (temperaturas controladas y ausencia de oxígeno), se ha comparado el pH, la conductividad eléctrica (CE), la cantidad de cenizas y el fósforo.

El ANOVA refleja que la temperatura tiene un efecto significativo ( $P < 0,05$ ) sobre las características estudiadas (Carbono orgánico total, nitrógeno, pH, CE, cenizas y P).

El material calcinado en campo, no muestra diferencias significativas con el material pirolizado en laboratorio a 600°C pero sí se diferencia frente a las temperaturas de 350°C y 500°C ya que tiene mayor contenido en carbono orgánico total. En cuanto al nitrógeno, todos los resultados obtenidos presentan diferencias significativas, siendo el biochar obtenido en campo el que menor cantidad de nitrógeno presenta como puede verse en las Figuras 2 y 3:



Figuras 2 y 3. Valores medios del test de rangos múltiples con intervalos LSD para los contenidos en Carbono Orgánico Total (%) y Nitrógeno (%) en función de la pirólisis realizada en campo y en laboratorio con temperaturas determinadas.

Respecto al pH, los valores obtenidos con los tratamientos en campo son muy próximos a los valores obtenidos con los sarmientos pirolizados en laboratorio a 500° y 600°C, como se puede comprobar en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores medios de pH de biochar calcinado en campo y pirólisis en laboratorio y grupos homogéneos establecidos por el test de rangos múltiples LSD. Letras distintas indican diferencias significativas entre grupos.

Tratamiento	Media	Grupos Homogéneos
350°C	7,97	c
500°C	9,77	b
Campo	10,06	b
600°C	10,53	a

La conductividad eléctrica nos permite conocer el contenido de sales solubles que se están añadiendo al suelo y que puede llegar a incrementar la salinidad de este, provocando problemas de estrés hídrico, problemas radiculares por la absorción de agua en patrones más sensibles. Los valores más altos se observan en la muestra realizada en campo (2,0 y 2,4 dS/m), disminuyendo enormemente, en más de un tercio de los valores de los residuos naturales.

La conductividad eléctrica es un parámetro muy relacionado con el contenido de cenizas, por tanto, como es de esperar, el valor más alto de cenizas lo alcanza el material pirolizado en campo con valores entre 13-16% de cenizas. También cabe destacar la gran diferencia observada entre la CE del material que se ha pirolizado a 300°C y la del material pirolizado a 600°C, situándose entre ambos la CE del pirolizado a 500°C.

Finalmente, el contenido en fósforo presenta valores similares a 350°C y a 500° (valores de 1-2%). El máximo contenido en fósforo se alcanza a los 600°C con valores en torno a 5%, sobre el peso de cenizas, y el valor más bajo se observa en el material pirolizado en campo el cual presenta menos del 1% de fósforo.



## 5.4. Caracterización de residuos vitícolas pirolizados en laboratorio con temperaturas controladas.

### 5.4.1. Efecto de la temperaturas

Los rendimientos que se han observado al realizar la pirólisis, varían entre un 25% y un 40%, y al igual que observaron Méndez *et al.*, (2013), Hossain *et al.*, (2011) y otros muchos autores, disminuyen a medida que aumenta la temperatura de pirólisis. Según McBeath *et al.*, (2015) la temperatura de pirólisis es el factor más influyente en el rendimiento que se obtiene del biochar. En nuestro caso existen diferencias estadísticamente significativas entre los rendimientos observados a 350°C y los observados a las otras dos temperaturas quedando los rendimientos obtenidos a 500°C más próximos a 600°C y sin mostrar diferencias significativas entre ambos (Figura 4).

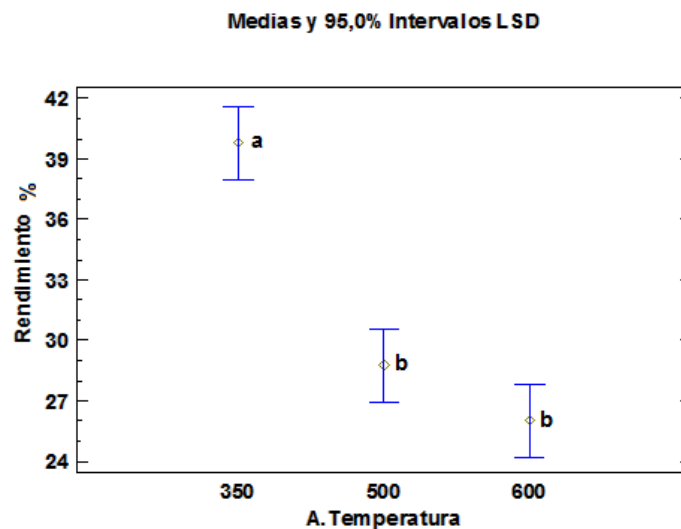


Figura 4. Valores medios e intervalos del test de rangos múltiples (LSD) para el rendimiento en porcentaje obtenido sobre la muestra inicial de material vegetal natural en función de las temperaturas de pirólisis. Las letras distintas indican diferencias significativas entre ellos.

El pH presenta diferencias significativas a las tres temperaturas. A la temperatura de pirólisis más baja que es 350°C adquiere valores entre 7,7-8,2 mientras que a la temperatura más alta 600°C presenta valores entre 10,2-10,7, por lo que hay una diferencia de pH debido a los óxidos y carbonatos. Estos aumentos de pH con los incrementos de temperatura de pirólisis también fueron observados por Albuquerque *et al.*, (2016) y otros autores. Estos últimos pH son elevados y, por tanto, este biochar es más recomendable para enmendar suelos ácidos. Sin embargo, distintas experiencias en suelos de estos pH demuestran que los suelos a los que se aplica este tipo de biochar no ven significativamente modificado su pH, ya que las proporciones de biochar que se adicionan a los suelos son muy pequeñas (del 1 al 1,5%).

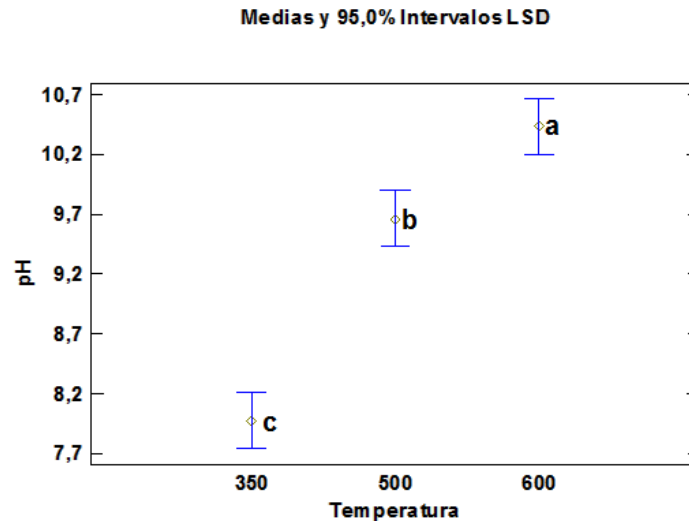


Figura 5. Valores medios e intervalos del test de rangos múltiples (LSD) para el pH según los tratamientos realizados a las tres temperaturas diferentes. Letras distintas indican diferencias significativas entre ellos.

Observando el gráfico de la Figura 5 y comparando los resultados de pH obtenidos y su comportamiento con la bibliografía, se observa lo mismo que Méndez *et al.*, (2013) y otros autores, el pH se incrementa con los aumentos de temperatura de pirólisis.

En cuanto a la conductividad eléctrica sólo se observan diferencias estadísticamente significativas entre el material obtenido a 350°C y el obtenido a 600°C. Asimismo se observa una tendencia al incremento de la CE con el incremento de las temperaturas de pirólisis.

En contraste con el efecto del rendimiento y al igual que el pH, el incremento de la temperatura de pirólisis tiene un efecto positivo en la eficiencia de la carbonización, es decir, un incremento del contenido de carbono orgánico total. Según Urien (2013), Manyà *et al.*, (2014) y otros autores que han profundizado en el tipo de carbono presente en el biochar, este carbono es más aromático que otros carbonos procedentes de residuos orgánicos, e incrementa su cantidad a medida que las temperaturas de pirólisis son mayores. Este carbono procede de la lignina que da lugar a degradaciones y en consecuencia a estos compuestos aromáticos. El carbono que forma parte de estructuras aromáticas, mejoraría el poder recalcitrante del biochar, es decir, su estabilidad en el suelo y su resistencia a la oxidación abiótica y/o su degradación por microorganismos.

En relación al contenido de carbono orgánico total y nitrógeno total se han observado diferencias estadísticamente significativas a las tres temperaturas de pirólisis (Figura 6).

El contenido en carbono orgánico total es mayor a medida que aumenta la temperatura, pero hay que hacer una distinción entre una fracción de carbono vegetal, el cual disminuye a medida que aumenta la temperatura de pirólisis y una fracción de carbono estable, el cual se incrementa de manera lineal con la temperatura de pirólisis. Este carbón estable es el que más importancia tiene, respecto a la mitigación del cambio climático, ya que va a disminuir las porciones de carbono que se emiten por ser más recalcitrante. Por ello hay que conjugar ambos factores (Nsamba *et al.*, 2015).

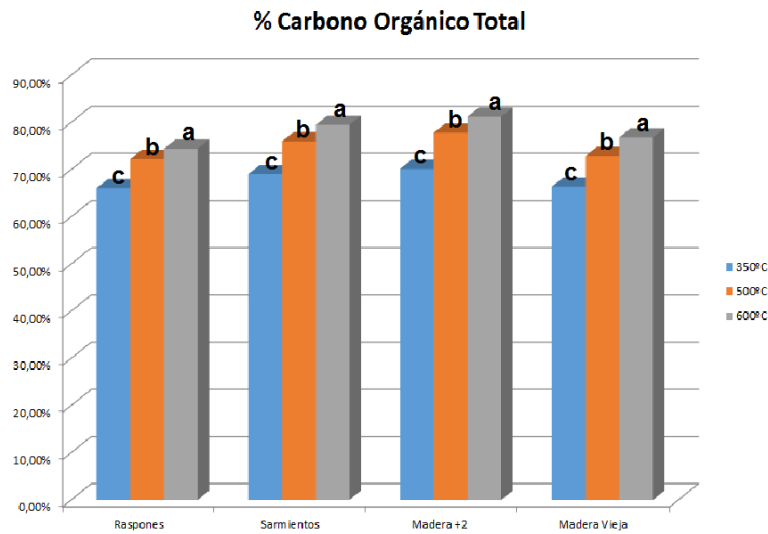


Figura 6. Contenidos de carbono orgánico total en % según las temperaturas de pirólisis. Letras distintas indican diferencias significativas entre los materiales obtenidos a las distintas temperaturas.

El nitrógeno sin embargo, disminuye su contenido a medida que se aumentan las temperaturas de pirólisis como puede comprobarse en la siguiente gráfica (Figura 7):

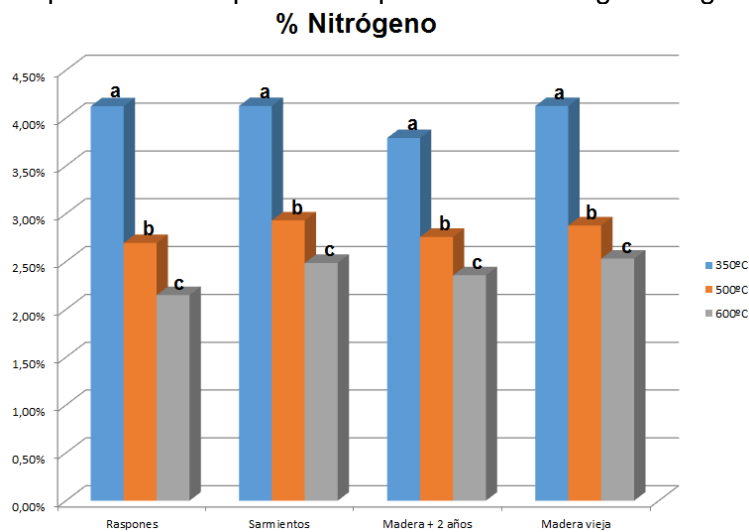


Figura 7. Contenidos de Carbono y Nitrógeno en porcentaje según los tratamientos realizados a las tres temperaturas diferentes. Letras distintas indican diferencias significativas entre los materiales obtenidos a las distintas temperaturas de pirólisis.

Respecto a las cenizas, se han observado diferencias significativas entre los tres tratamientos (temperaturas de pirólisis). La cantidad de cenizas se ve incrementada a medida que las temperaturas a las que se realizan las pirólisis son mayores como también ha ocurrido con los experimentos realizados por Zhang *et al.*, (2015) que además en los resultados de este autor se observa un aumento de las cenizas en función de un mayor tiempo de duración de pirólisis.

El fósforo no presenta diferencias estadísticamente significativas aunque se observa una tendencia de aumento en cantidad de fósforo con el aumento de la temperatura a

las que se realiza la pirólisis debido a la concentración que hay del mismo en las cenizas.

#### 5.4.2. Efecto de los diferentes residuos vitícolas de partida

Para el análisis de resultados de los distintos residuos vitícolas y su comportamiento en función de los parámetros analizados, se han realizado ANOVAs con dos factores: material y temperatura.

La composición de los diferentes residuos, es decir, el grado de lignificación, riqueza en celulosa, hemicelulosas, etc, va a condicionar, lógicamente, los contenidos en carbono, nitrógeno, fósforo, etc de los biochar que se obtengan.

Los contenidos en carbono y el nitrógeno del biochar obtenido son significativamente distintos para los cuatro materiales de partida procedentes de vid ( $P < 0,05$ ). Respecto al carbono, los resultados obtenidos se muestran en la Figura 8.

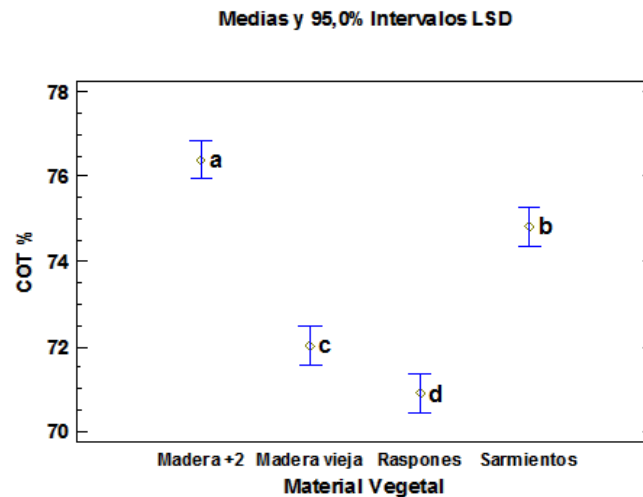


Figura 8. Valores medios de Carbono Orgánico Total (%) y sus intervalos LSD.

Tal y como refleja la Figura 8, la madera vieja presenta un contenido de COT próximo al de los raspones siendo éste el material vegetal con menor contenido en carbono.

En el caso del contenido en nitrógeno, se pueden observar dos grupos (Figura 9), los sarmientos y la madera vieja tienen unos valores similares entre sí y con valores algo mayores a la madera de más de dos años y a los raspones a las temperaturas más altas (500 y 600 °C).

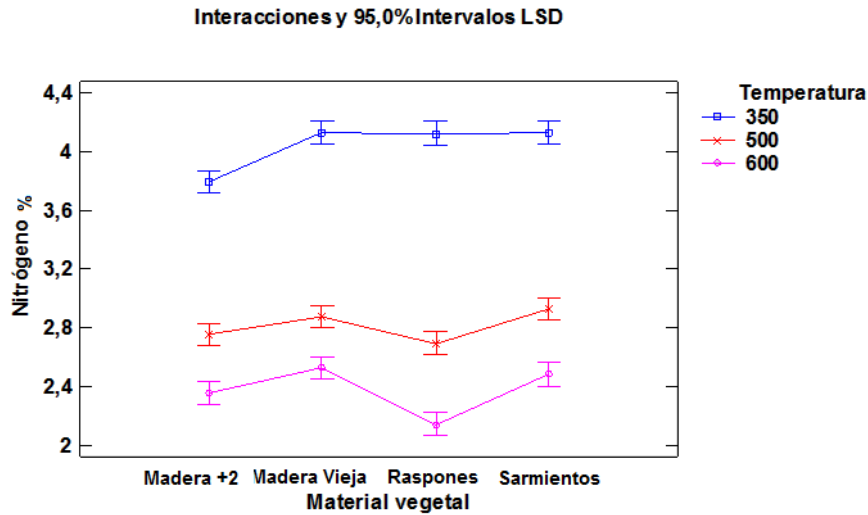


Figura 9. Contenido medio en nitrógeno (%) de los distintos materiales vegetales de partida en función de la temperatura de pirolisis e intervalos LSD.

En la Figura 9, se puede observar la similitud de los contenidos en nitrógeno por parte de todos los materiales vegetales salvo la madera de más de 2 años a la temperatura de 350°C. A las temperaturas de 500°C y 600°C, los raspones son los que presentan menor cantidad de nitrógeno.

Se observaron diferencias significativas entre el pH del biochar obtenido a partir de los distintos materiales vegetales ( $P < 0,05$ ).

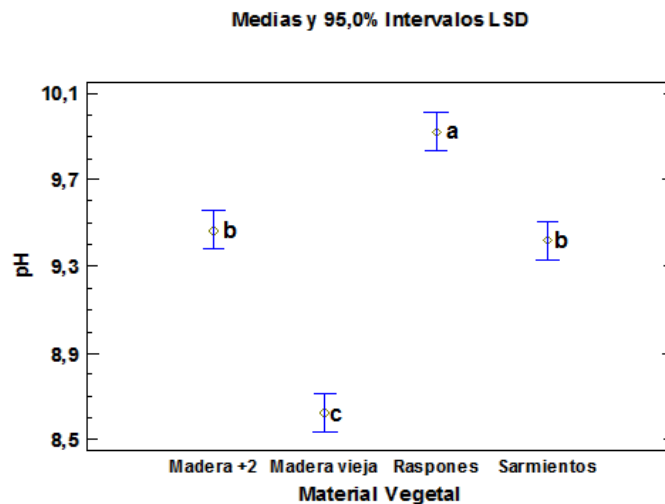
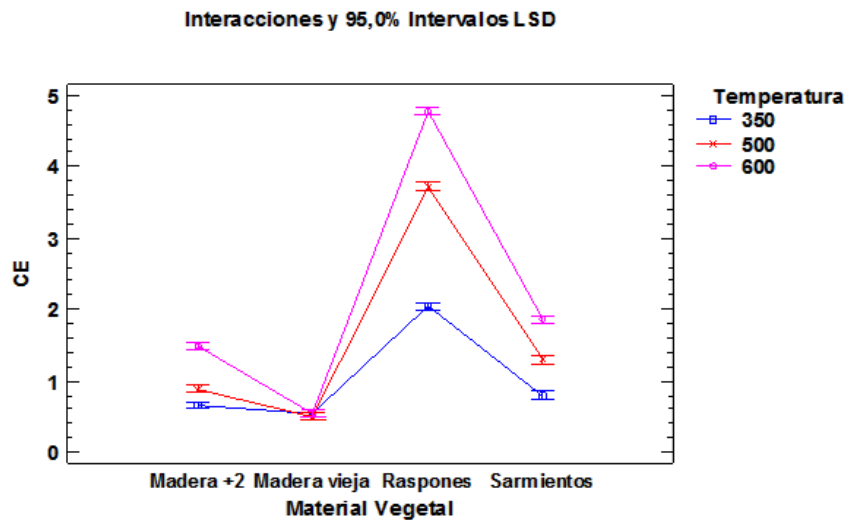


Figura 10. Muestra los valores medios e intervalos LSD del pH de los diferentes materiales vegetales.

En la Figura 10 se observa similitud entre el pH del biochar procedente de los sarmientos y la madera de dos años (valores entre 9,3 y 9,6) y diferencias significativas con el pH del biochar procedente de la madera vieja que alcanza los

valores de pH más bajos (en torno a 8,7) así como con los raspones que tienen los valores más altos (rondando el 9,9).

La conductividad eléctrica resultó ser significativamente distinta en el biochar procedente de los distintos materiales de partida ( $P < 0,05$ ). En la Figura 11 se muestra el efecto de la interacción entre el material vegetal de partida y la temperatura sobre la CE.



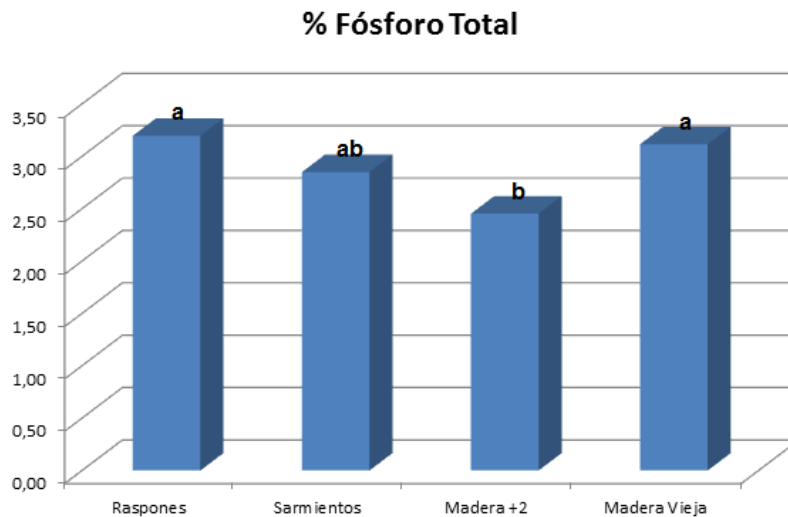
*Figura 11. Muestra las medias e intervalos LSD para la media de la conductividad eléctrica del biochar obtenido así como variaciones de la conductividad eléctrica con la temperatura de pirólisis en función del material vegetal de partida.*

Los raspones son el material vegetal que da lugar a un biochar con una mayor conductividad eléctrica abarcando valores desde 2 dS/m hasta los 5 dS/m, siendo estos muy superiores a los valores observados en los otros materiales. Se destaca también que la madera vieja tiene la misma conductividad eléctrica a las distintas temperaturas de pirólisis.

En cuanto al contenido de cenizas, los cuatro materiales vegetales muestran diferencias significativas entre ellos, siendo los raspones los que presentan un mayor contenido en cenizas con valores entre 13,4% y 13,7% mientras que los demás residuos vitícolas muestran valores por debajo del 8%.

La madera vieja y la madera joven son las más parecidas en cuanto a sus valores, lo cual puede ser debido a una estructura muy parecida en su composición (madera).

Finalmente, el contenido en fósforo presente en el biochar obtenido a partir de los distintos materiales de partida es significativamente distinto ( $P < 0,05$ ; Figura 10).



*Figura 12. Contenidos en fósforo total (%) en cenizas de los distintos materiales vegetales procedentes de residuos vitícolas. Letras distintas indican diferencias significativas existentes en el contenido de fósforo total de los materiales.*

Como puede observarse en la Figura 12, el contenido en fósforo total determinado en cenizas, de los raspones es muy similar al de la madera vieja estando en torno al 3% mientras que los sarmientos y la madera de más de dos años, adquieren valores por debajo del 3%.

### **5.5. Características del biochar procedente de residuos de otras especies vegetales: pino y encina**

Se han comparado las características del biochar que se ha obtenido en laboratorio a partir de restos de vid con las de biochar procedente de madera de pino y encina.

El número de muestras y tratamientos que se han estudiado sobre el biochar procedente de estos tres tipos de material vegetal no permiten realizar un tratamiento estadístico de los resultados obtenidos, por tanto, en este apartado se presentan valores medios de las características estudiadas pero no se puede concluir si existen diferencias significativas entre las mismas. Es por esto que solamente se comentarán las tendencias que parecen observarse entre ellos.

El pH muestra diferencias entre los tres residuos, siendo el pH del biochar de madera de pino el más bajo de los tres con un valor de 8,2 y el pH de la encina y de la vid más parecidos con valores en torno a 9,9, lo que se puede observar en la Figura 13.

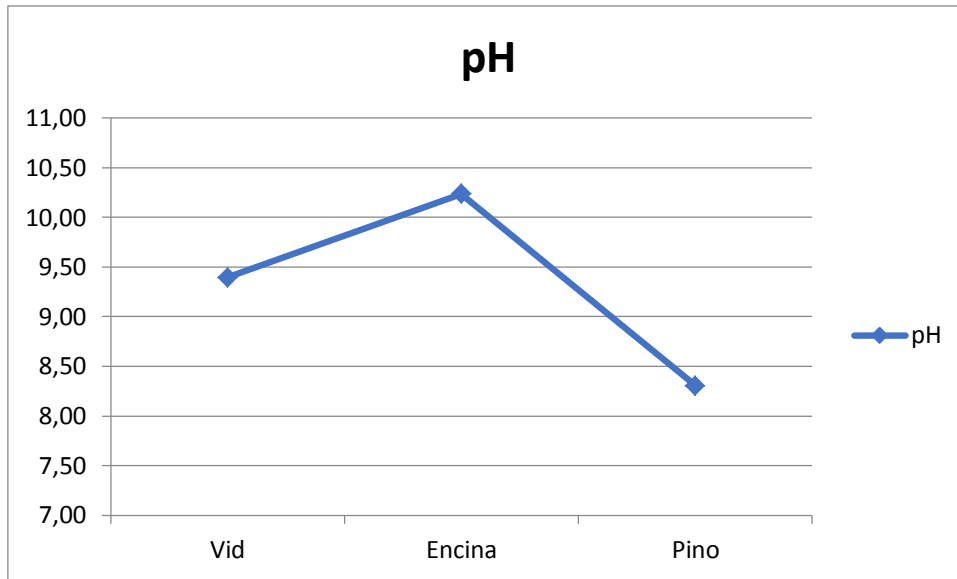


Figura 13. Valores medios de pH del biochar procedente de las tres especies vegetales.

En cuanto a la conductividad eléctrica, el biochar procedente del material vegetal de vid posee valores medios más altos (entre 1,7 y 2,2 dS/m) mientras que el biochar de encina y pino presentan valores más bajos (inferiores a 1,4 dS/m).

Los contenidos en cenizas son mayores en el biochar procedente de madera de pino y encina con valores medios superiores al 12% mientras que la vid presenta contenidos más bajos, en torno al 9% (Figura 14).

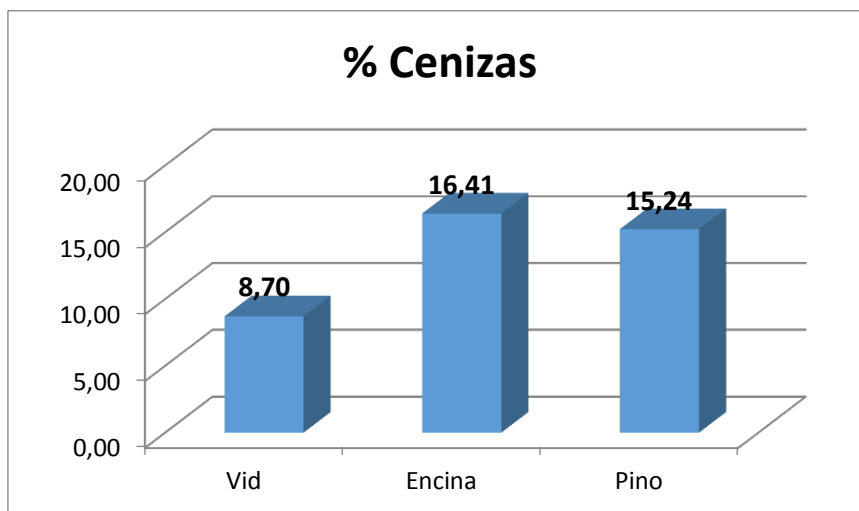


Figura 14. Contenido en cenizas (%) de las tres especies vegetales.

Finalmente en el fósforo total, determinado en cenizas del biochar, se puede observar que la vid presenta el mayor contenido medio en este elemento con valores en torno al 2,9%, mientras que las otras especies vegetales presentan valores medios por debajo del 1,3%.



## 5.6. Características del biochar sin mezclar y mezclado con compost

Las muestras disponibles y los tratamientos que se han realizado para el estudio del biochar sin mezclar y mezclarlo con residuos compostados, no nos han permitido hacer un análisis estadístico de los resultados, por ello solamente se presentan valores medios de los parámetros estudiados. Se comentarán los comportamientos observados en cada uno de los parámetros estudiados.

En las muestras del material que no se ha activado se presentan valores de pH comprendidos entre 9,6 y 9,9. En el material activado, las muestras de la pila 1 y 4, correspondientes a estiércoles de bovino y ovino respectivamente, prácticamente se mantienen, mientras que la pila 7 que contiene la gallinaza baja de manera importante su pH llegando a valores de 8,8. Estos resultados pueden observarse en la Figura 15. Si nos basamos en este parámetro para los suelos de la parcela de la que se ha obtenido los restos para hacer el biochar, el compost más recomendable sería el de la pila 7 porque es el que tiene un pH más bajo y no subiría por tanto el pH del suelo.

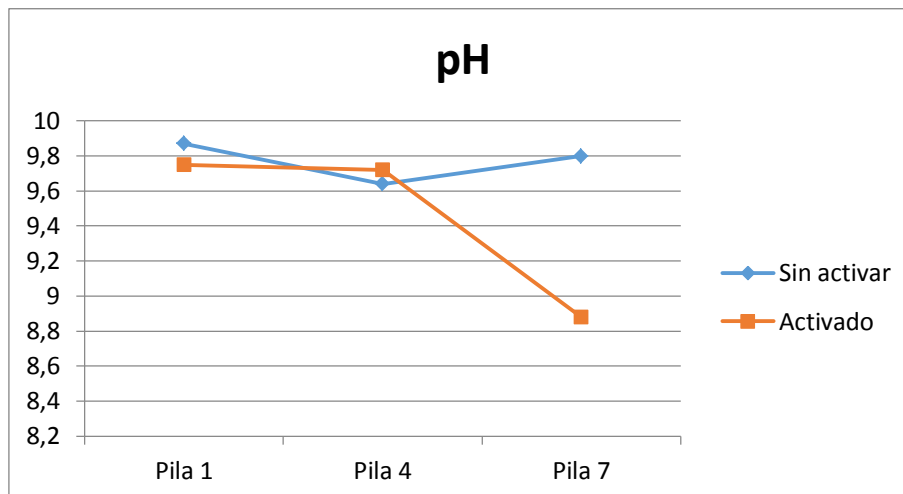


Figura 15. Evolución de los valores de pH en función de la pila y del tratamiento.

En cuanto a la conductividad eléctrica, se observa que los tres materiales tienen una conductividad eléctrica más baja en la pila 7, y el compostado presenta valores entre 2,2 y 5,2 dS/m

En cuanto a la conductividad eléctrica, el material sin activar permanece con valores similares entre 1,8 y 2,3 dS/m, y dentro de los activados, el de la pila 1 que tiene estiércol de bovino tiene mayor conductividad eléctrica frente a los otros dos, siendo el mezclado con estiércol de gallinaza el que menor conductividad eléctrica presenta.

Esta diferencia de comportamiento se cree debida a que en los estiércoles de bovino y ovino existía un contenido de sal (NaCl) que se añade en la alimentación del ganado y que ha elevado esta CE. Mientras que no ocurre lo mismo en la gallinaza que se mantiene prácticamente en los mismos valores. Estos resultados se muestran en la Figura 16.

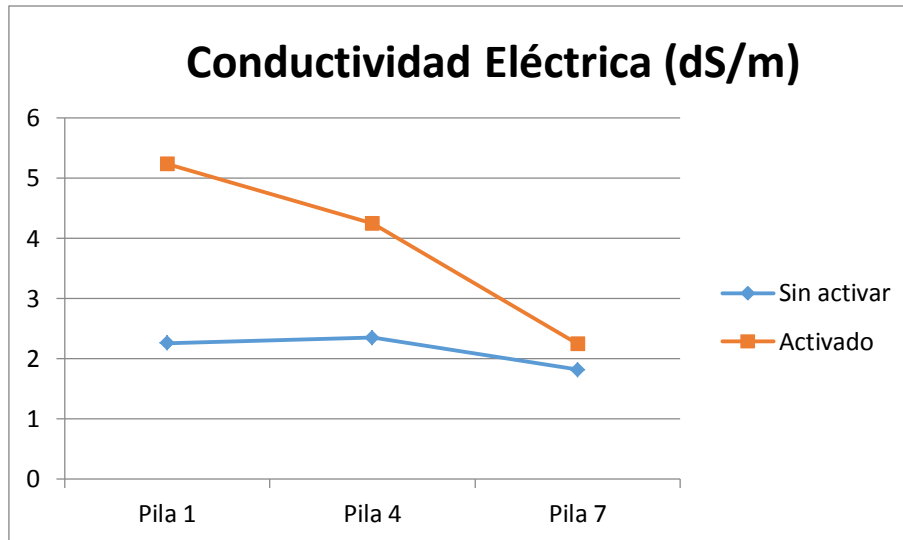


Figura 16. Conductividad eléctrica de cada pila y del biochar activado y sin activar

También se ha determinado el contenido en fósforo ya que es un macronutriente importante a tener en cuenta a la hora de adicionar compost al suelo y es fundamental saber cuánto fósforo va a aportar. El mayor contenido en fósforo lo presenta el biochar activado con gallinaza con un valor medio de 5,3% mientras que los otros dos compost, de estiércol de bovino y ovino tienen valores medios de 3% y 4,6% respectivamente.

## 6. CONCLUSIONES

-Puede observarse que los biochar que se obtuvieron podrían certificarse por las dos entidades según los parámetros que se determinaron, considerando que los rangos establecidos en los parámetros por los diferentes organismos, IBI y EBC son muy amplios y dan lugar a varias catalogaciones de los mismos.

-En las comparaciones con los restos de poda y/o residuos sin pirolizar que puedan añadirse a los suelos, se observa que los contenidos de carbono se incrementan hasta casi el doble dependiendo de las temperaturas. El nitrógeno sin embargo disminuye a una décima parte en su contenido. El biochar es por tanto un producto más rico en carbono que los residuos vitícolas sin tratar, con diferencias de hasta un 30% más de incremento de carbono.

-Con respecto a la carbonización realizada en campo se observa que en los contenidos de C se asemeja a la pirolisis realizada a mayor temperatura, sin embargo los contenidos de nitrógeno se reducen a valores inferiores que en cualquier temperatura de pirolisis. Reduciéndose también con la pirolisis la conductividad eléctrica.

- Las temperaturas de pirólisis influyen de manera importante en las características del biochar resultante, a temperaturas más bajas se consiguen mejores rendimientos, pero a mayor temperatura existe una mayor concentración de carbono y de otros macronutrientes como el fósforo, pero también hay que tener en cuenta que se pierden algunos como el nitrógeno. .

-La procedencia de la biomasa a partir de la cual se va a llevar a cabo la pirólisis es un factor fundamental en los resultados que se van a obtener al analizar diversos parámetros. Como se ha podido comprobar en el cuarto apartado y en las comparaciones de residuos vitícolas con residuos agroforestales, estas diferencias son debidas a la diferente composición que tenga el material de partida.

-Es necesario profundizar en más ensayos para recomendar la activación del biochar.

-El biochar obtenido puede emplearse en el suelo agrícola de la parcela objeto de estudio, ya que puede aportar carbono (tanto en su fracción estable en el tiempo como en la fracción degradable por microorganismos), como nitrógeno y fósforo. Además mejorará la estructura en los primeros centímetros reduciendo problemas de cárcavas y erosión en las calles en las zonas donde se aplique. Si se realiza de manera periódica, puede mejorar la retención de agua en el viñedo y también la disponibilidad de nutrientes.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Albuquerque JA, Sánchez ME, Mora M, Barrón V. 2016. Slow pyrolysis of relevant biomasses in the mediterranean basin. part 2. char characterisation for carbon sequestration and agricultural uses. *J Clean Prod* 120:191-7.
- Borchard N, Prost K, Kautz T, Moeller A, Siemens J. 2012. Sorption of copper (II) and sulphate to different biochars before and after composting with farmyard manure. *Eur J Soil Sci* 63(3):399-409.
- Enders A and Lehmann J. 2012. Comparison of wet-digestion and dry-ashing methods for total elemental analysis of biochar. *Commun Soil Sci Plant Anal* 43(7):1042-52.
- Enders A, Hanley K, Whitman T, Joseph S, Lehmann J. 2012. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *Bioresour Technol* 114:644-53.
- Ennis CJ, Evans AG, Islam M, Ralebitso-Senior TK, Senior E. 2012. Biochar: Carbon sequestration, land remediation, and impacts on soil microbiology. *Crit Rev Environ Sci Technol* 42(22):2311-64.
- García R, Pizarro C, Lavín AG, Bueno JL. 2012. Characterization of spanish biomass wastes for energy use. *Bioresour Technol* 103(1):249-58.
- Gaskin JW, Steiner C, Harris K, Das KC, Bibens B. 2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Trans ASABE* 51(6):2061-9.
- Genesio L, Miglietta F, Baronti S, Vaccari FP. 2015. Biochar increases vineyard productivity without affecting grape quality: Results from a four years field experiment in tuscany. *Agric , Ecosyst Environ* 201:20-5.
- Glaser B, Lehmann J, Zech W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review. *Biol Fertility Soils* 35(4):219-30.
- Hidalgo L and Togores JH. 2011. *Tratado de viticultura*. Mundi-prensa.
- Hossain MK, Strezov V, Chan KY, Ziolkowski A, Nelson PF. 2011. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. *J Environ Manage* 92(1):223-8.
- International Biochar Initiative. 2012. Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil. *IBI Biochar Standards* .
- Jeffery S, Verheijen FGA, van der Velde M, Bastos AC. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agric , Ecosyst Environ* 144(1):175-87.

- Jin J, Kang M, Sun K, Pan Z, Wu F, Xing B. 2016. Properties of biochar-amended soils and their sorption of imidacloprid, isoproturon, and atrazine. *Sci Total Environ* 550:504-13.
- Jindo K, Suto K, Matsumoto K, García C, Sonoki T, Sanchez-Monedero MA. 2012a. Chemical and biochemical characterisation of biochar-blended composts prepared from poultry manure. *Bioresour Technol* 110:396-404.
- Jindo K, Sánchez-Monedero MA, Hernández T, García C, Furukawa T, Matsumoto K, Sonoki T, Bastida F. 2012b. Biochar influences the microbial community structure during manure composting with agricultural wastes. *Sci Total Environ* 416:476-81.
- Kimetu JM, Lehmann J, Ngoze SO, Mugendi DN, Kinyangi JM, Riha S, Verchot L, Recha JW, Pell AN. 2008. Reversibility of soil productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient. *Ecosystems* 11(5):726-39.
- Lehmann J, Gaunt J, Rondon M. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review. *Mitigation Adapt Strat Global Change* 11(2):395-419.
- Lehmann J, Czimczik C, Laird D, Sohi S. 2009. Stability of biochar in soil. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology* :183-206.
- Lehmann J, Rillig MC, Thies J, Masiello CA, Hockaday WC, Crowley D. 2011. Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biol Biochem* 43(9):1812-36.
- Li R, Zeng K, Soria J, Mazza G, Gauthier D, Rodriguez R, Flamant G. 2016. Product distribution from solar pyrolysis of agricultural and forestry biomass residues. *Renewable Energy* 89:27-35.
- Liu X, Han F, Zhang X. 2012. Effect of biochar on soil aggregates in the loess plateau: Results from incubation experiments. *International Journal of Agriculture and Biology* 14(6):975-9.
- Mackie K, Müller T, Kandeler E. 2012. Remediation of copper in vineyards—a mini review. *Environmental Pollution* 167:16-26.
- Mackie K, Marhan S, Ditterich F, Schmidt H, Kandeler E. 2015. The effects of biochar and compost amendments on copper immobilization and soil microorganisms in a temperate vineyard. *Agric , Ecosyst Environ* 201:58-69.
- Major J, Rondon M, Molina D, Riha SJ, Lehmann J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a colombian savanna oxisol. *Plant Soil* 333(1-2):117-28.
- Manyà JJ, Ortigosa MA, Laguarda S, Manso JA. 2014. Experimental study on the effect of pyrolysis pressure, peak temperature, and particle size on the potential stability of vine shoots-derived biochar. *Fuel* 133:163-72.
- McBeath AV, Wurster CM, Bird MI. 2015. Influence of feedstock properties and pyrolysis conditions on biochar carbon stability as determined by hydrogen pyrolysis. *Biomass Bioenergy* 73:155-73.

- Méndez A, Terradillos M, Gascó G. 2013. Physicochemical and agronomic properties of biochar from sewage sludge pyrolysed at different temperatures. *J Anal Appl Pyrolysis* 102:124-30.
- Moreno-Barriga F, Díaz V, Acosta JA, Faz Á, Zornoza R. 2015. Influencia de la temperatura y del tiempo de pirólisis en la hidrofobicidad de biocarbón obtenido a partir de purín porcino. *Anuario De Jóvenes Investigadores* :18.
- Mukherjee A and Zimmerman AR. 2013. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar–soil mixtures. *Geoderma* 193:122-30.
- Nsamba HK, Hale SE, Cornelissen G, Bachmann RT. 2015. Sustainable technologies for small-scale biochar production—a review. .
- Paco Abenza D and Alcañiz JM. 2012. Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta. .
- Pandey V, Patel A, Patra DD. 2016. Biochar ameliorates crop productivity, soil fertility, essential oil yield and aroma profiling in basil (*ocimum basilicum* L.). *Ecol Eng* 90:361-6.
- Rondon M., Ramirez JA and Lehmann J. 2005. Greenhouse gas emissions decrease with charcoal additions to tropical soils. *Proceedings of the 3rd USDA symposium on greenhouse gases and carbon sequestration, baltimore, USA*. 208 p.
- Schmidt H, Kammann C, Niggli C, Evangelou MW, Mackie KA, Abiven S. 2014. Biochar and biochar-compost as soil amendments to a vineyard soil: Influences on plant growth, nutrient uptake, plant health and grape quality. *Agric , Ecosyst Environ* 191:117-23.
- Schulz H, Dunst G, Glaser B. 2013. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. *Agronomy for Sustainable Development* 33(4):817-27.
- Singh R, Babu JN, Kumar R, Srivastava P, Singh P, Raghubanshi AS. 2015. Multifaceted application of crop residue biochar as a tool for sustainable agriculture: An ecological perspective. *Ecol Eng* 77:324-47.
- Sohi S, Lopez-Capel E, Krull E, Bol R. 2009. Biochar's roles in soil and climate change: A review of research needs. *CSIRO Land and Water Science Report* 5(09):1-57.
- URIEN PINEDO A. 2013. Obtención de biocarbones y biocombustibles mediante pirólisis de biomasa residual. .
- Xu P, Sun C, Ye X, Xiao W, Zhang Q, Wang Q. 2016. The effect of biochar and crop straws on heavy metal bioavailability and plant accumulation in a cd and pb polluted soil. *Ecotoxicol Environ Saf* 132:94-100.
- Zhang J, Liu J, Liu R. 2015. Effects of pyrolysis temperature and heating time on biochar obtained from the pyrolysis of straw and lignosulfonate. *Bioresour Technol* 176:288-91.

