



TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

TÍTULO:

Uso alternativo para la producción intensiva, carbonilla, un subproducto de la agroindustria

MODALIDAD: Tesina

ALUMNA: Mónica Elizabeth Dorneles

ASESORA: Ing. Agr. (Dra.) Carolina Fernández López

2020

AGRADECIMIENTOS

El tiempo transcurrido en la facultad fue generador de grandes experiencias y vivencias, desde lo aprendido en las aulas, en los finales, hasta en los viajes. Con el pasar de las materias se aprende a amar cada vez más la carrera que nos acompañara toda la vida y haber llegado al final es un logro no solo propio sino también de mi familia (mi madre, mi padre y mi hermano) quienes me apoyaron, acompañaron y alentaron cada paso que fui dando en estos años de formación.

Quiero mencionar la importancia de los compañeros y amigos que logre encontrar en el camino quienes facilitaron el día a día ya que sin ellos seguramente el camino hubiera sido más difícil.

Agradezco infinitamente la guía, predisposición y paciencia para resolver mis dudas e inquietudes de mi directora, la Ing. Agr. (Dra.) Carolina Fernández López. Muchas gracias.

No tengo que olvidar de mencionar al Ing. Agr. Guillermo Salvador Rodríguez, Ing. Agr. Walter Esteban Heyde, Ing. Agr. (Esp.) Federico Antonio Paredes y la Ing. Agr. Marcela Cossoli quienes me brindaron colaboración para realizar mis ensayos. Gracias.

Al jurado, por tomarse de su tiempo y realizar el seguimiento de este trabajo, muchas gracias.

Finalmente agradezco al EEA INTA Sombrerito Corrientes, por permitirme llevar a cabo parte de este trabajo en sus instalaciones.

RESUMEN

El objetivo general de este trabajo fue evaluar la utilización de carbonilla como sustrato mejorador de la productividad en suelos para horticultura.

Se realizaron pruebas de germinación con semillas de *Latuca sativa* y *Eruca vesicaria* y rechazo de lombrices californianas que comprobara la inocuidad de la carbonilla para posteriormente incorporarla en el suelo a campo y evaluar el comportamiento productivo de un cultivo hortícola (lechuga bajo cobertura) ante la presencia de la carbonilla en el sistema de edafón.

Se utilizó carbonilla fina (1cm de diam. equivalente) y gruesa (3cm de diam. equivalente) con las cuales se realizaron cinco tratamientos con tres repeticiones que fueron: 0: testigo (sin carbonilla), 1: 40% carbonilla fina y 60% suelo, 2: 40% carbonilla gruesa y 60% suelo, 3: 60% carbonilla fina y 40% suelo y 4: 60% carbonilla gruesa y 40% suelo. Siguiendo las instrucciones de la Guía básica para ensayos de biochar (Major; 2010) se realizaron pruebas de germinación de plantas indicadoras, de rechazo de lombrices, se determinaron las constantes hídricas y la capacidad de adsorción de fertilizantes.

Para la prueba a campo se realizaron tres tratamientos con cuatro repeticiones que fueron: Testigo (suelo sin carbonilla), 1% de carbonilla en el suelo y 5% de carbonilla en el suelo. Con todos los datos obtenidos se realizaron análisis estadístico descriptivo utilizando el Software INFOSTAT.

Se comprobó que entre carbonilla fina y gruesa, la de menor tamaño era más apta para ser usada ya que con ella se obtuvieron mejores resultados de sobrevivencia de las semillas germinadas, de retención de agua y adsorción de nutrientes.

El análisis de suelo, del sitio donde se llevó a cabo el ensayo a campo, mostró un problema de deficiencia de nutrientes y un alto pH: 8,44. Una vez realizada la cosecha de cada tratamiento y del testigo y evaluando los parámetros de masa obtenido por cada uno se comprobó que el tratamiento con mejores resultados fue el de 5% de carbonilla en suelo, demostrándose así que la carbonilla mejora las condiciones edáficas lo que permite un mejor crecimiento y desarrollo de las plantas, en este caso *Latuca sativa*, al obtenerse resultados alentadores se sugiere realizar ensayos con otras especies ya que se podría esperar resultados similares.

ANTECEDENTES:

Las mejoras en la “producción amigable” con el ambiente en los últimos años ha llevado a desarrollar investigaciones de las más variadas en relación a la reutilización de productos de descarte, entre ellos subproductos de diversas actividades particularmente importantes según la zona productiva.

El Biocarbón es un nuevo tipo de carbón que es consecuencia del calentamiento de materia orgánica proveniente de residuos como sobrantes de madera y desperdicios de la agricultura, en un ambiente limitado de oxígeno. Este tipo de carbono difiere del que conocemos ya que su uso no es la obtención de energía si no el secuestro de carbono atmosférico y su almacenaje dentro de las tierras, ayudando a que éstas se hagan más fértiles (Lehmann et al., 2006).

El término Biocarbón es de desarrollo relativamente reciente, y surgió con la conjunción de la gestión del suelo y temas de secuestro de carbono (Lehmann et al., 2006).

En términos más técnicos, el Biocarbón se produce mediante descomposición térmica de la materia orgánica con un bajo suministro de oxígeno (O_2), y a temperaturas relativamente bajas ($\leq 700^{\circ}C$). Este proceso es muy parecido al de la formación de carbón vegetal (Harris, 1999), sin embargo la diferencia está en que el Biocarbón es producido con la intención de aplicarse en el suelo para mejorarlo, mejorar filtración por percolación del agua en el suelo y almacenar carbono (C), y no para ser usado como combustible. Su producción, junto con el objetivo de su uso, es la base de la denominación de este producto.

La pregunta de lo que es el Biocarbón desde un punto de vista químico, más que de un punto de vista de producción es más difícil de responder debido a que hay una gran variedad de biomasa y procesos de carbonización. Hasta ahora, los materiales del tipo del Biocarbón no se han podido caracterizar en gran medida debido a su complejidad y variabilidad (Schmidt y Noack, 2000). Uno de los primeros intentos por caracterizar la estructura de cristal del grafito se hizo en la década de 1920 por JD Bernal empleando la difracción de rayos X, Bernal (1924) demostró la estructura hexagonal y la estratificación en láminas de grafeno en un cristal puro de grafito. La forma mucho más irregular de la materia orgánica del tipo del Biocarbón se investigó satisfactoriamente mucho después, en la década de 1940 (Franklin 1950; 1951).

El Biocarbón está constituido por partículas de diferentes tamaños, lo que depende de la fuente y dimensión de la materia prima (Lehmann, 2007). Posee una alta porosidad con micro, meso y macroporos, cuyos tamaños van de <2 nm, 2-50 nm y >50 nm, respectivamente (Rouquerol et al., 1999; Downie et al., 2009). Los macroporos provienen de los espacios propios de la materia prima original y permiten el transporte rápido de sorbatos, para su posterior difusión en el volumen de microporos, ayudando al transporte de moléculas concentradas (Martínez et al., 2006). Los microporos son generados en el proceso de pirólisis, por lo que al aumentar la temperatura aumenta la microporosidad, además generan más área de carga reactiva. Los microporos están asociados a la adsorción de compuestos líquidos, sólidos y de gases (Verheijen et al., 2009).

Un aspecto interesante del Biocarbón en el suelo es la variación en la capacidad de adsorción. Cohen-Ofri et al. (2006) compararon las estructuras de Biocarbón moderno y fosilizado (3000 - 40.000 años), ellos encontraron que ambos contenían una fase cristalina interna compuesto por micro-cristales similares al grafito y otra fase no organizada que la rodeaba, que se formaba principalmente de grupos aromáticos. Estas partículas negativamente cargadas incrementan la densidad de carga en las superficies de las partículas de Biocarbón y son las responsables de la gran capacidad de intercambio catiónico (CIC) en el rango de pH del suelo (Liang et al., 2006).

La investigación y estudio del Biocarbón como enmienda de suelos es reciente. No obstante, en países como Inglaterra o Japón, el uso del carbón vegetal fue tema de investigaciones relacionadas con la agricultura a finales del siglo XIX, así como a lo largo del siglo XX. En Japón, es común el uso del Biocarbón en suelos, así se ha encontrado detallado su uso en viejos textos de agricultura del año 1697, y fue durante la década de los años ochenta cuando se intensificó su investigación (Lehmann, 2009).

La base existente detrás del interés originado en los últimos años por la aplicación en suelos de este material pirogénico se debe principalmente a dos hechos: en primer lugar, debido al descubrimiento de partículas similares al carbón en suelos muy fértiles y de alto contenido en carbono del Amazonas en Brasil, denominados localmente como Terra preta do Indio (Lehmann et al., 2006; Lehmann, 2009), y en segundo lugar, debido a investigaciones publicadas que han demostrado la recalcitrancia (muy persistente por su estabilidad o resistencia a los procesos de degradación microbianos o físico-químicos que tienen lugar en el suelo) de este material frente a

otras enmiendas orgánicas y su contribución al incremento de la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Cheng et al., 2008, Sohi et al., 2009).

La denominada Terra preta es consecuencia de prácticas de manejo de suelos ancestrales (desde hace 500-2500 años) y parecidas al carboneo de leña y otros restos de biomasa, llevadas a cabo por culturas indígenas anteriores a la colonización europea (Petersen et al., 2001).

Muchos pequeños agricultores y jardineros quieren experimentar con Biocarbón pero no tienen fácil acceso al material. De acuerdo con el lugar donde se encuentren, el Biocarbón puede estar disponible en las siguientes formas (Major et al., 2010):

- Los lugares donde se hacen fogatas muchas veces tienen trozos de carbón.
- Las estufas de leña pueden ser operadas para que produzcan una pequeña cantidad de carbón.
- En muchas regiones, se puede comprar carbón de leña para cocinar. Este material puede ser un buen Biocarbón. No se deben usar briquetas de carbón mineral o que contengan combustible fósil, ya que estas substancias no se deben agregar al suelo.
- Otra idea es usar el carbón del filtro de un acuario, para agregar a la tierra de plantas de interior. Este carbón está impregnado de nutrientes de los excrementos de los peces.
- Estudiantes y aficionados han creado pequeñas estufas usando latas y otros materiales, que producen pequeñas cantidades de carbón.
- Aquellos que saben trabajar con metal pueden buscar en Internet planos para unidades de pirólisis limpias, hechas con tambores metálicos y otros materiales.

En la zona norte de Argentina, se produce carbón vegetal, y como producto de descarte de ello la “carbonilla”, que si bien, no ha sido producido específicamente como Biocarbón, podría ser utilizado localmente como mejorador de las propiedades del suelo.

Hoy en día se busca la gestión de suelos sostenibles para crear una “Revolución Verde Doble”, que incluya técnicas de conservación (Tilman, 1998; Conway 1999) y que sea más accesible para otros países. El Biocarbón hace posible convertir la “Revolución Verde” en prácticas sostenibles en agro-ecosistemas justificado por el hecho de que un buen rendimiento, que requeriría aportes cada vez más caros de

fertilizantes en el sistema convencional, hace necesario niveles apropiados de materia orgánica en este sistema sustentable, que puede ser asegurado mediante la gestión del suelo con Biocarbón a largo plazo (Steiner et al., 2007; Kimetu et al., 2008). El mismo no debe verse como una alternativa a la gestión actual del suelo, sino un añadido valioso que facilita el desarrollo de un uso sostenible del suelo: creando una verdadera “Revolución Verde de Biocarbón”.

El suelo es un recurso esencial para el desarrollo sostenible de la agricultura y producción de alimentos; Sin embargo, el riesgo de degradación rápida del suelo está aumentando a nivel mundial (Symeonakis et al., 2016). Los suelos infértilles no solo están formados por factores antropogénicos (por ejemplo, actividades humanas) también por factores pedogénicos/naturales (por ejemplo, materiales parentales) (Lal, 2015). La restauración de suelos infértilles ha sido cada vez más reconocida como una opción vital para promover la seguridad alimentaria (Mekuria et al., 2016). Además, el secuestro de carbono en el suelo es esencial para la mejora de la calidad del mismo (Körschens et al., 2014; Zhang y Ok, 2014; Bruun et al., 2015). Así, el desarrollo de enmiendas innovadoras que enriquecen el contenido de carbono y mejoran los suelos infértilles es necesario.

La fertilidad del suelo se define como la capacidad del suelo para suministrar proporcionalmente y suficientes nutrientes y agua para las plantas en ausencia de elementos tóxicos (Havlin et al., 2014). La adición de biocarbón puede estimular la actividad microbiana, retener los nutrientes del suelo, inmovilizar contaminantes tóxicos y mejorar propiedades fisicoquímicas del suelo como la capacidad de intercambio catiónico (CIC), capacidad de retención de agua y aireación del suelo (Igalavithana et al., 2015; Igalavithana et al., 2017; El-Naggar et al., 2018b) Contrariamente a otras enmiendas orgánicas como el compost y los biosólidos, el biocarbón puede permanecer en el suelo durante miles de años debido a su fuerte naturaleza recalcitrante (Kuzyakov et al., 2014). Con base en estas propiedades, el potencial uso del biocarbón ha sido ampliamente reconocido como un medio de captura de carbono en un suelo (Awad et al., 2013; Mandal et al., 2016; El-Naggar et al., 2018a), además de sus propiedades físico-químicas beneficiosas.

Como es sabido la adsorción es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas de gases, líquidos o sólidos disueltos son atrapados o retenidos en una determinada superficie interfiere esta propiedad en la carbonilla evitaría que en caso de

proporcionar fertilizantes, al sustrato mezclado con carbonilla, no se pierdan por una rápida lixiviación y estén un mayor tiempo posible disponibles para que las raíces de las plantas los tomen y aprovechen los beneficios de poseer los nutrientes a disposición, esto se traduce en menos perdidas económicas ya que conllevaría a suministrar fertilizantes en la medida de lo necesario y no requeriría incorporar en exceso debido a las pérdidas que normalmente se tienen en condiciones de campo.

En la última década, partiendo del continente europeo, se han implementado diferentes técnicas para la utilización del biocarbón el cual se presenta como una oportunidad para mejorar la fertilidad del suelo y la eficiencia de uso de nutrientes; en el NEA se puede asimilar la utilización de carbonilla con este fin, empleando recursos disponibles localmente, obtenidos de materiales renovables. Adoptar una gestión del suelo con Biocarbón no requiere nuevos recursos, pero hace un uso más eficiente y consciente del medioambiente y de los recursos ya disponibles. The International Biochar Initiative (IBI), y científicos que trabajan en su estudio como Lehmann (2009) proponen en su definición la particularidad de denominar al material pirolizado como Biocarbón cuando su destino es la de aplicación como enmienda orgánica de suelos y para el secuestro de carbono en el mismo, siendo estos últimos aspectos de gran importancia, ya que se descarta el uso de Biocarbón como combustible.

Por todo lo expuesto, y en atención a lo planteado por otros autores, se considera que la carbonilla tiene la capacidad de jugar un rol importante en la expansión de opciones de gestión sostenible del suelo mejorando las prácticas de gestión existentes (Matson et al., 1997), y no solo aumentando la productividad del suelo, también disminuyendo el impacto ambiental en los recursos del suelo e hídricos (Foley et al., 2005; Robertson y Swinton, 2005). La “carbonilla” es un subproducto de la industria de elaboración del carbón vegetal, son restos y porciones fina y molida que no sirven como combustible para cocinar. Este subproducto no tiene uso específico y hasta la fecha no hay estudios sobre los efectos de esta carbonilla en las propiedades del suelo para la producción de alimentos.

OBJETIVO GENERAL:

Evaluar la utilización de carbonilla como sustrato mejorador de la productividad en suelos para horticultura.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Determinar la inocuidad de la carbonilla.
- Probar la aceptación de lombrices a fin de determinar si la mezcla realizada con carbonilla y suelo eran las adecuadas.
- Evaluar la adsorción por parte de la carbonilla frente al fertiriego
- Probar diferentes tamaños de partículas de carbonilla para evaluar los comportamientos entre ellos y con el testigo.
- Establecer cuáles de las mezclas propuestas de carbonilla + suelo es más eficiente en la retención de agua y disponibilidad de nutrientes para la planta.

MATERIALES Y MÉTODOS:

Se utilizó carbonilla procedente del residuo de la producción carbonífera de la provincia de Chaco, la cual fue producida por la empresa W&H TRADING SAS, que utilizan especies como *Caesalpinea paraguariensis* (Guayacán), *Ziziphus mistol* (Mistol) *Aspidosperma quebracho blanco* (quebracho blanco) sometidas a temperaturas aproximadas de 700° C.

Se utilizaron 2 tamaños diferentes de carbonilla:

- Fina de 1cm, material retenido entre tamices Nº 1/2" (12,5 mm) y Nº 10 (2 mm) (Montenegro y Malagón, 1990).
- Grueso de 3cm, material retenido entre tamices Nº 11/4" (31,5 mm) y Nº 1/2" (12,5 mm). (Montenegro y Malagón, 1990).

Se realizaron cinco tratamientos con 3 repeticiones los cuales fueron:

1. Testigo: sin carbonilla
2. Tratamiento 1: 40% carbonilla fina y 60% suelo
3. Tratamiento 2: 40% carbonilla gruesa y 60% suelo
4. Tratamiento 3: 60% carbonilla fina y 40% suelo
5. Tratamiento 4: 60% carbonilla gruesa y 40% suelo

Algunas características físico-químicas y químicas del suelo se detallan en la figura 5

- Determinación de constantes hídricas

En cada tratamiento se realizó la determinación de la capacidad de campo (CC) por el método Gravimétrico (Porta, 1994) y utilizando ecuación de pedotransferencia se obtuvo el PMP la cual se detalla en cuadro 2.

- Prueba de germinación

Las pruebas de germinación se practican de manera rutinaria, muchas veces para evaluar la calidad de las semillas pero su objetivo aquí es evaluar si la carbonilla tiene efectos sobre la germinación de semillas de plantas sensibles a los trastornos en el suelo. Se supone que una reducción de la germinación de semillas con carbonilla indica la presencia de sustancias indeseables en el material. La lechuga (*Lactuca sativa L.*) es la

especie más indicada para usar en esta prueba, ya que es muy sensible a la presencia de sustancias nocivas. También se pueden usar semillas de rábano (*Raphanus L.*) o trébol (*Trifolium L.*) (Major et al., 2010).

Una vez determinado los volúmenes de suelo y carbonilla fina (40% y 60%) y gruesa (40% y 60%) que debía contener cada tratamiento con sus respectivas repeticiones para macetas de tres litros se sembraron 20 semillas de *Lactuca sativa L* por macetas; del mismo modo se procedió con las macetas destinadas a la siembra de *Eruca vesicaria ssp. sativa*.

Se tomaron datos de germinación inicialmente a los tres días de sembradas las semillas luego se procedió a tomar datos una vez por semana durante un total de 3 semanas para evaluar el comportamiento de las plantas en un medio reducido de recursos y espacio y determinar su sobrevivencia en los diferentes tratamientos propuestos.

- Prueba de rechazo por lombrices según *The International Biochar Initiative*

Esta prueba puede ser más sensible que la de germinación de semillas, se pueden emplear lombrices rojas usadas para el lombricompost (*Eisenia fetida* y *Eisenia andre*), o también lombrices blancas usadas para alimentar animales en acuarios. Si la carbonilla contiene compuestos indeseables, las lombrices evitarán el suelo que lo contiene (Major et al., 2010).

Siguiendo las instrucciones de la Guía básica para ensayos de biochar en el suelo (Major et al., 2010), se procedió a: en principio realizar las mezclas necesarias para cada tratamiento (carbonilla fina en 40% y 60% y carbonilla gruesa en 40% y 60%), luego en cuatro cajones de 15 litros se colocaron plásticos para dividir el interior de los mismo a la mitad, se llenó una mitad con la mezcla que le correspondía y la otra con suelo, se extrajeron los plásticos que marcaban la línea divisoria y se humedecieron ambos sustratos, en la línea se colocaron 15 lombrices, del mismo modo se procedió con cuatro macetas de tres litros donde se colocaron en la línea divisoria siete lombrices; una vez finalizada la preparación de macetas y cajones se los trasladó a un lugar húmedo y oscuro, al cabo de una semana se procedió a contar el número de lombrices que estaban en la mezcla y las que estaban en el suelo.

- Prueba de adsorción de fertilizantes

Se realizaron análisis químicos y físico-químicos del suelo, al que se incorporó la carbonilla, con el fin de determinar las condiciones iniciales (figura 5):

- pH (Sparks, 1996)
- Materia orgánica (Sparks, 1996)
- Cationes intercambiables (Ca, Mg y K) (Sparks, 1996)
- Fosforo disponible (Sparks, 1996)

Para demostrar la capacidad de adsorción de la carbonilla se midió la concentración de nutrientes (fosforo y nitrógeno) proporcionados con fertirriego, a los tratamientos y al testigo, mediante el Método cualitativo Griess para Nitrato y Método cualitativo y cuantitativo de Murphy y Ridley para fosfato; los métodos fueron realizados 3 veces para asegurar la validez de los resultados obtenidos.

Los tratamientos propuestos para esta prueba fueron:

1. Testigo: 100% suelo
2. 1% Carbonilla + suelo
3. 5% Carbonilla + suelo
4. C: 100% carbonilla

Dichos tratamientos se realizaron en un volumen de 600 cc de suelo (testigo) y mezcla (carbonilla + suelo) en macetas de tres litros, luego de mezcladas las cantidades pertinentes; se regó a CC son una solución (agua más fertilizante) el cual según la prueba a realizar fueron:

- 2,91 g de urea para realizar la prueba colorimétrica de detección de nitrato.
- 2,18 ml de fosfato de potasio para realizar la prueba de absorbancia de fosfato y la prueba colorimétrica de detección de fosfato.

Las concentraciones de fertilizantes se determinaron de acuerdo a los requerimientos de *Latuca sativa* y la disponibilidad de nutrientes en el volumen de suelo mencionado.

En la base de las macetas se colocó un recipiente cóncavo para la recolección de la solución percolada.

Las pruebas para determinar adsorción fueron:

- Detección de nitrato: realizado con el método Griess usando los indicadores Griess A y Griess B y unos pequeña cantidad de zinc, este método detecta la presencia de nitrato en una solución volviéndola de color rojo si hay presencia y atenuándose el color de acuerdo a la cantidad que pueda haber en el medio hasta volverse incoloro en caso de que no exista nitrato presente (Valija de campaña de Microbiología y comunicación personal con Ing. Agr. Cossoli M. 2019).
- Detección de fosfato: fue realizado con el método colorimétrico de Murphy y Ridley el cual consistió en colocar en un tubo de ensayo pequeña fracción de suelo (luego de realizado el fertiriego con fosfato de potasio), se le añade 10 ml de Bray I como extractante del fosfato en suelo, luego se agregó los indicadores paramolibdato de amonio y cristales de ácido ascórbico como indicadores, la apariencia de color azul indica la presencia de fosfato y la intensidad del color está relacionada con la cantidad presente en el suelo (Valija de campaña de Forrajicultura y Comunicación personal con Ing. Agr. Tomei C.E. 1998).
- Medición de fosfato en solución: se utilizó el método colorimétrico de Murphy y Ridley para este método se requirió de la utilización de un espectrofotómetro de luz visible-UV, se agregó paramolibdato de amónico, mas ácido ascórbico a la solución percolada del riego, luego de unos minutos de dejar que la reacción estabilizara su color se tomó una alícuota de cada muestra y se pasó por el espectrofotómetro de luz visible-UV el cual arrojo datos de absorbancia de luz, con dichos datos se calculó las cantidades de fosfato presente en cada solución (Valija de campaña de Forrajicultura y Comunicación personal con Ing. Agr. Tomei C.E. 1998).

- Prueba a campo

En un invernáculo de 25 metros de largo por 7 metros de ancho se construyeron camellones (suelo elevado) y una vez que el suelo estuvo preparado se sorteó los lugares de cada ensayo y el testigo, con sus repeticiones, para generar una distribución al azar evitando de ese modo la intervención subjetiva del evaluador. Una vez que se realizó en sorteo la distribución quedó designada como se observa en el cuadro 1.

	T	5%	1%	1%	T	5%
	T	1%	5%	1%	T	5%

Cuadro 1: distribución de ensayos y sus repeticiones; T): Testigo (100% suelo); 1%): de carbonilla en suelo; 5%): de carbonilla en suelo.

El suelo del invernáculo presento las características físico-químicas y químicas que se detallan en la figura 5. Para determinar la textura del suelo se siguió el método al tacto propuesto en Introducción para el uso de la valija de análisis (Vazquez 1993).

Determinados los lugares correspondiente a cada tratamiento se calcularon los volúmenes necesarios de carbonilla fina al 5% y 1% requerido para cada lote y se mezcló con el suelo procurando lograr la mayor homogeneidad posible, luego se humedeció y se dejó un día para permitir su estabilidad. Las concentraciones de 1% y 5% propuestas en este ensayo fueron seleccionadas a partir de las indicado por Dominchin et al., (2018)

El 24/04 se realizó el trasplante de *Latuca sativa* dando como resultado cuatro repeticiones para cada tratamiento (cuadro 1). Se realizó una fertilización base con “triple 15” en el momento del trasplante, también se aplicó “Captan” (en forma localizada con intervalos de 15 – 20 días. En dosis de 100 L/há.) y “Sulfato de cobre” (15 gramos por cada litro de agua) 3 veces en el ciclo de crecimiento para prevenir la proliferación de hongos que ante las condiciones de días nublados y lluviosos generarían problemas fitosanitarios.

A la semana de realizado el trasplante se hizo un desmalezado manual debido a problemas con *Cyperus rotundus* (cebollín).

Se realizaron visitas semanales para verificar condiciones sanitarias de las plantas hasta la fecha de cosecha.

El 26/06 se procedió a la cosecha pesando el total de plantas de cada tratamiento y del testigo con sus repeticiones como un lienzo, y se midió la altura de plantas.

El lugar donde se llevó a cabo este ensayo fue en la Chacra de un productor hortícola ubicado en Ruta 12 Km 1019,3 y el tiempo aproximado de duración fue de tres meses (desde trasplante en lugar definitivo a cosecha).

Con todos los datos obtenidos se realizaron análisis estadístico descriptivo utilizando el Software INFOSTAT (Di Renzo et al., 2016).

RESULTADOS Y DISCUSION

- Determinación de constantes hídricas

En la figura 1 se observa un cambio en las constantes hídricas que gráficamente se aprecia que es significativa. Se puede apreciar que el testigo presento la menor retención de humedad comparado con los diferentes tratamientos. A su vez se demuestra que el tamaño de partícula de carbonilla más adecuado para ser utilizado en aplicaciones a campo es el de 1 cm (carbonilla fina) por presentar una mayor retención de humedad que aquellos tratamientos con carbonilla de 3cm (carbonilla gruesa).

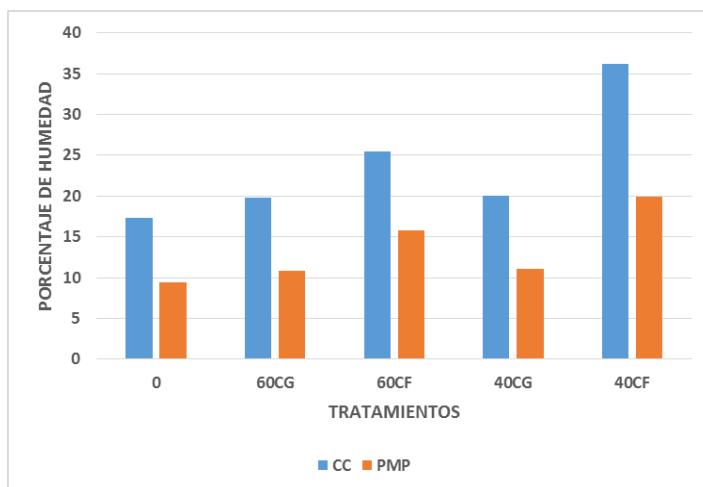


Figura 1: representación de las constantes hídricas (0: Testigo, 60CG: 60% de carbonilla gruesa + suelo, 60CF: 60% de carbonilla fina + suelo, 40CG: 40% de carbonilla gruesa + suelo, 40CF: 40% de carbonilla fina + suelo)

TRATAMIENTO	0	60CG	60CF	40CG	40CF
CC	17,3	19,77	25,5	20,05	36,23
ECUACION DE PEDOTRANSFERENCIA	CC/1,84	CC/1,84	CC/1,84	CC/1,84	CC/1,84
PMP	9,47	10,86	15,81	11,02	19,91

Cuadro 2: valores de CC obtenidos por método Gravimétrico y PMP obtenidos por ecuación de pedotransferencia (0: testigo; 60CG:60% de carbonilla gruesa; 60CF:60% de carbonilla fina; 40CG:40% de carbonilla gruesa; 40CF: 40% de carbonilla fina)

La textura del suelo utilizado en todas las pruebas y en el ensayo a campo es de tipo franco limoso lo cual se determinó siguiendo el método al tacto propuesto en Introducción para el uso de la valija de análisis.

- Prueba de germinación:

Según la Guía básica para ensayos de biochar (Major 2010) una prueba de germinación permite descartar la presencia de sustancias tóxicas para las plantas, técnicamente una vez que las semillas germinaron esta prueba se puede dar por terminada sin embargo en este caso se decidió continuar con la toma de datos para evaluar el progreso de las plantas y determinar qué proporción de carbonilla y cuál de los tamaños propuestos era el más apropiado para usar a campo.

Las figuras 2 y 3, representan la germinación y sobrevivencia de *Latuca sativa* y *Eruca vesicaria ssp sativa* respectivamente, se observa que a mayor proporción de carbonilla hay un alto porcentaje de semillas germinadas.

En las figuras 2 a y 3 a (que representan la siembra del mes de enero), puede verse que en las macetas testigo (sin carbonilla) hay un nulo porcentaje de germinación imposibilitando la medición de su sobrevivencia ese mes por ello en el mes de febrero se repitió el procedimiento obteniéndose los resultados que se muestran en las figuras 2 b y 3 b.

Respecto a la sobrevivencia de las plantas germinadas las que se encontraban en las mezclas con carbonilla tenían mayor supervivencia en el tiempo que el testigo (figura 2 b y 3 b), estando los tratamientos y el testigo con un suministro de agua entre CC y PMP, este comportamiento permitió comprobar la calidad de retención hídrica que presenta la carbonilla, frente al testigo, no permitiendo que el agua se pierda por lixiviación y por lo tanto las plantas lo tienen disponible más tiempo que aquellas que estaban en las macetas testigo.

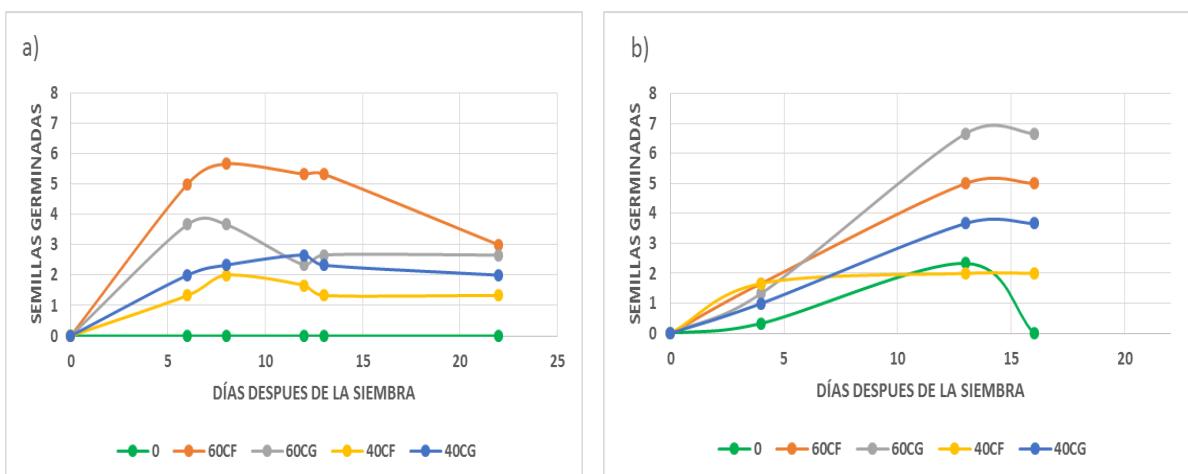


Figura 2: germinación y sobrevivencia de *Latuca sativa* a) Enero, b) Febrero (0: Testigo; 60CF: 60% carbonilla fina; 60CG: 60% carbonilla gruesa; 40CF: 40% carbonilla fina; 40CG: 40% carbonilla gruesa)

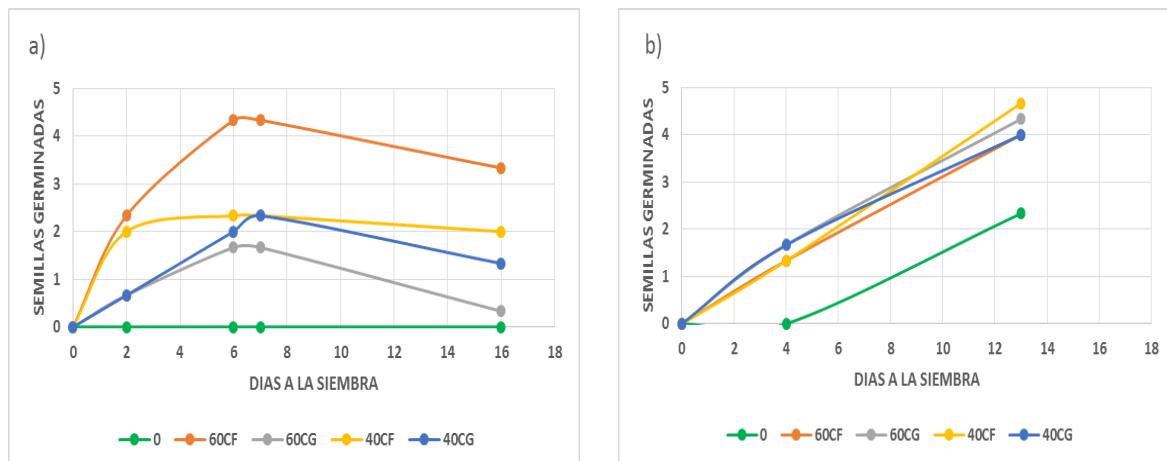


Figura 3: germinación y sobrevivencia de *Eruca vesicaria* ssp. *sativa* a) Enero, b) Febrero (0: Testigo; 60CF: 60% carbonilla fina; 60CG: 60% carbonilla gruesa; 40CF: 40% carbonilla fina; 40CG: 40% carbonilla gruesa).

- Prueba de rechazo de lombrices

En la figura 4 a se observa que las lombrices tuvieron mayor aceptación a las mezclas que al testigo; con un 60% de concentración de carbonilla, si se compara entre carbonillas fina y gruesa, las lombrices optan por la mezcla con la carbonilla gruesa; en cambio con un 40% de concentración el comportamiento se invierte ya que optan por la carbonilla fina.

El comportamiento de las lombrices, además de demostrar la inocuidad de la carbonilla, demuestra su capacidad de retención de humedad en el medio a lo largo de la semana de prueba, lo que llevo a generar la preferencia al sitio con carbonilla por sobre el testigo.

En el figura 4 b se observa un comportamiento diferente al anterior demostrando una preferencia de las lombrices por el testigo más que por la mezcla, sin embargo ante la disminución de los porcentajes de carbonilla y del diámetro equivalente de las mismas, las lombrices se encontraron más uniformemente distribuidas como se aprecia en el caso de la muestra con 40% de carbonilla fina (3 lombrices en suelo y 3 lombrices en carbonilla).

El comportamiento diferenciado en ambos ensayos podría deberse al tamaño de las macetas de pruebas ya que en el caso a) los cajones eran de 15 litros y en el caso b) solo de 3 litros y aquí, al ser macetas pequeñas, la diferencia de humedad entre suelo y

mezcla pudo no ser marcadamente diferente como en el caso anterior y al ser el suelo el medio con los nutrientes requerido por las lombrices las mismas optaron por el testigo.

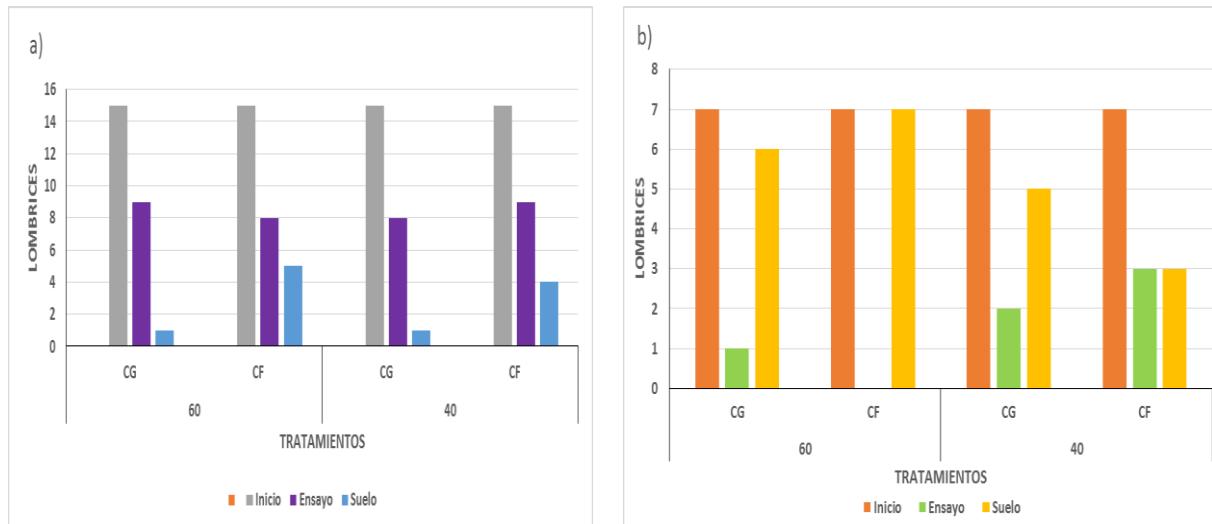


Figura 4: distribución de lombrices californianas a) Cajones de 15 litros b) Macetas de 3 litros (CG: carbonilla gruesa; CF: carbonilla fina; 40: 40%, y 60: 60%).

- Prueba de adsorción de fertilizantes

Los resultados del análisis químico y físico-químico del suelo fueron los siguientes:

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS UNNE
CATEDRA DE EDAFOLOGIA

Solicitante: Srta Mónica Dorneles
Procedencia: Riachuelo Corrientes
Tesisna
Fecha: 19/9/2019

ANALISIS SUELOS
pH en agua : relación Suelo:Agua = 1:2.5
Materia orgánica: Método Walkley - Black [M.O.]
Fósforo: Método Bray I [P]
Calcio, Magnesio, Potasio : Método Acetato de Amonio pH 7 (Ca, Mg, K).

Lab	Campo	pH	MO %	P ppm	Ca *	Mg meq/100g	K *
274	0-20 cm	8,44	2,02	78,67	10,80	0,63	0,29

Mónica Dorneles
Dña. Mónica Elizabeth Dorneles

Figura 5: resultados del análisis de suelo

- Detección de nitrato

Con la figura 6 se observa que a mayor porcentaje de carbonilla en suelo menor es la presencia de nitrato en la solución, el testigo presento un intenso color rojo y a mayor contenido de carbonilla en el medio el color fue atenuándose hasta mostrar un

color rosa pálido como se puede observar en el tratamiento de 100% de carbonilla. Al ser esta una prueba cualitativa, las cantidades de nitrato que fue liberado por infiltración es estimado en mucho, poco o nada, interpretando los colores que se obtienen al incorporar en la solución percolada los indicadores correspondientes a la prueba.

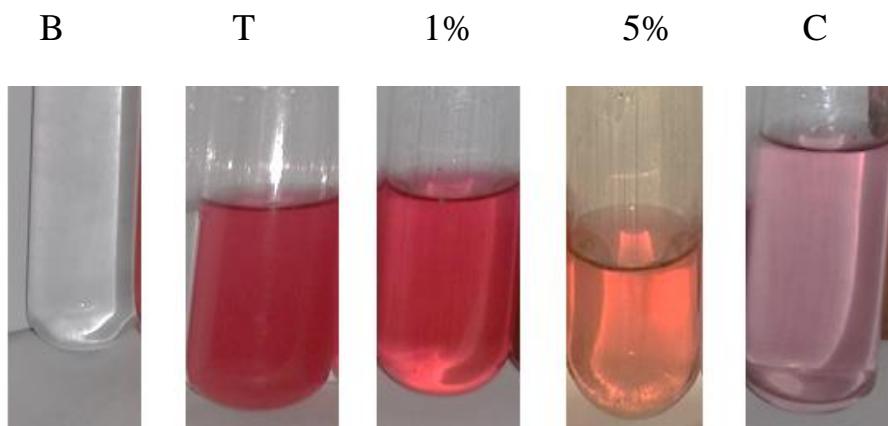


Figura 6: presencia de nitrato en agua percolada (B: blanco, T: testigo, 1%: de carbonilla en suelo, 5%: de carbonilla en suelo, y C: 100% carbonilla).

- Detección de fosfato

En la figura 7 se observa, que a mayor concentración de fosfato en el medio mayor es el color que se adquiere al incorporar los reactivos correspondientes; se puede apreciar que el testigo poseer un color azul intenso y el tratamiento con 100% de carbonilla un color más tenue, teniendo como intermedio a los tratamientos de 1% y 5%. Los colores, sin embargo pueden presentarse opacos ya que para esta prueba se requiere utilizar suelo problema cuyas partículas en suspensión generan dicho efecto.

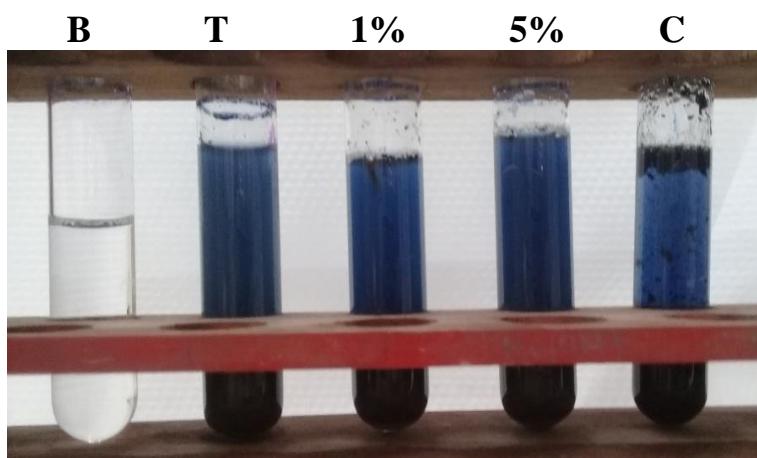


Figura 7: prueba colorimétrica de fosfato (B: blanco, T: testigo, 1%: de carbonilla 5%: de carbonilla C: 100% de carbonilla)

- Medición de fosfato en solución:

Con un espectrofotómetro de luz visible-UV se puede cuantificar la presencia de fosfato en solución; como se aprecia en figura 8 las concentraciones de fosfato en solución percolada fue disminuyendo a medida que los porcentajes de carbonilla en el suelo aumentaron, hasta mostrar un mínimo en el tratamiento con 100% de carbonilla demostrando la capacidad de adsorción de la carbonilla y los beneficios que esto implica al ser mezclada con suelo.

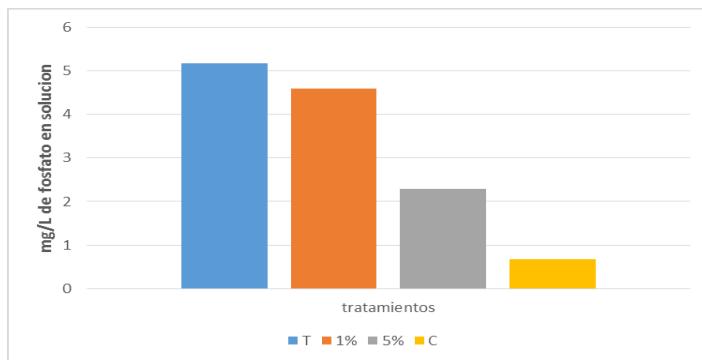


Figura 8: Presencia de fosfato en solución percolada (T: testigo; 1%: de carbonilla; 5%: de carbonilla; C: 100% de carbonilla)

- Prueba a campo

En el Figura 9 se observa que las plantas del testigo alcanzaron un bajo peso comparado con los tratamientos los cuales en promedio superaron al testigo en 13g en el caso de 1% de carbonilla y 575g en el de 5% de carbonilla; el valor obtenido en el tratamiento de 1% demostró que aun en bajas proporciones de carbonilla ya se obtiene resultados.

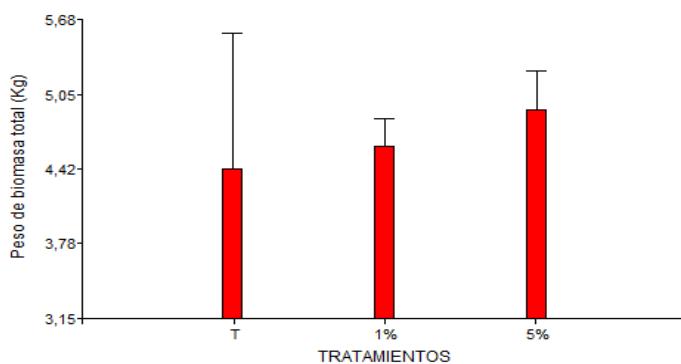


Figura 9: peso de cada tratamiento (T: testigo; 1%: de carbonilla; 5%: de carbonilla)

La Figura 10 muestra las alturas de plantas por tratamiento, notándose que las plantas del testigo fueron las de menor altura (en promedio 30,20 cm), seguido por las del 5% (en promedio 31,83 cm) y dejando al tratamiento de 1% como el que cuyas plantas lograron mayor altura con unos 32,97 cm en promedio.

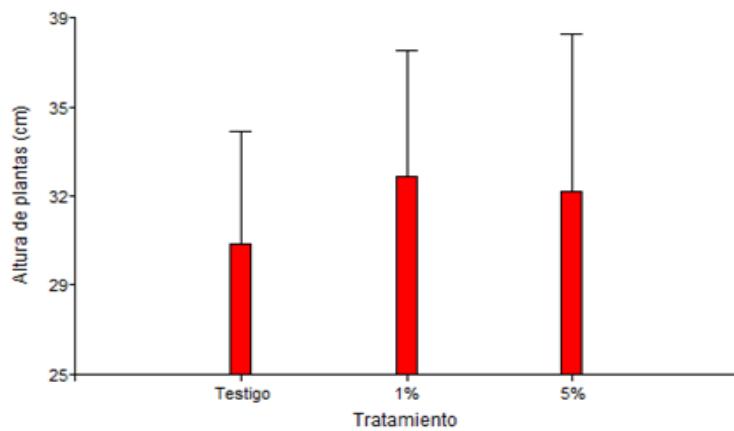


Figura 10: medición de altura de cada tratamiento (T: testigo; 1%: de carbonilla; 5%: de carbonilla)

Con el análisis de suelo (figura 5) se puede estimar la causa del comportamiento de cada tratamiento, debido a un pH de 8,44 del suelo los nutrientes son propensos a ser fijados por lo tanto no están disponibles para las plantas esto explicaría el bajo rendimiento obtenido con el testigo, a su vez comparando los tratamientos de 1% y 5% donde este último tuvo mejores rendimientos (de biomasa total) se puede estimar que debido al aumento del porcentaje de carbonilla en el suelo el intercambio de nutrientes aumento y por lo tanto las plantas mostraron un mayor rendimiento.

Comparando los parámetros medidos donde, en altura el tratamiento de 1% fue el destacado y en peso el de 5% fue el que se destacó, podemos decir que para fines productivos es aconsejable la incorporación de 5% de carbonilla al suelo para que las plantas adquieran una mayor biomasa, ya que el producto se vende por peso de cada lienzo.

CONCLUSIONES

En las pruebas de germinación y rechazo con lombrices se comprobó la inocuidad de la carbonilla y por lo tanto la misma pudo ser incorporada al suelo en el ensayo a campo.

Con la prueba de adsorción se comprobó la capacidad de retener nutrientes de la carbonilla que permite que los fertilizantes incorporados no se pierdan por lixiviación y el mismo comportamiento se obtiene frente al agua que mediante la medición de las constantes hídricas se pudo comprobar que la mezcla con carbonilla aumenta la capacidad de retener el agua para las plantas.

Al probar diferentes tamaños de partículas se determinó que el tamaño óptimo para ser usado en las mezclas corresponde a la fracción más fina (1 cm de diámetro equivalente). La misma tiene una mayor eficiencia de retención de agua y de nutrientes y al evaluarla en diferentes concentraciones se comprobó que a mayor concentración de carbonilla fina los resultados obtenidos fueron mejores, si bien no se efectuó análisis estadístico.

Los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados permitieron determinar que la carbonilla fina es una alternativa prometedora para ser utilizada como mejoradora de suelos.

BIBLIOGRAFÍA:

- Awad, Y.M.; Blagodatskaya, E.; Ok, Y.S.; Kuzyakov, Y. (2013). “Effects of polyacrylamide, biopolymer and biochar on the decomposition of 14C-labelled maize residues and on their stabilization in soil aggregates”. *Eur. J. Soil Sci.* 64, 488–499. <https://doi.org/10.1111/ejss.12034>. (Última consulta 16/10/2019)
- Bernal, J.D. (1924). “The structure of graphite”, *Proceedings of the Royal Society of London Series A*, 106: 749–773.
- Bruun, T.B.; Elberling, B.; Neergaard, A.D.; Magid, J. (2015). “Organic carbon dynamics in different soil types after conversion of forest to agriculture”. *Land Degrad. Dev.* 26 (3),272-283.<https://doi.org/10.1002/lrd.2205>. (Última consulta 16/10/2019)
- Cheng, C.H.; Lehmann, J.; Thies, J.E.; Burton, S.D. (2008). “Stability of black carbón in soils across a climatic gradient”, *Journal of Geophysical Research*, 113: 1-10.
- Cohen-Ofri, I.; Weiner, L.; Boaretto, E.; Mintz, G. ;Weiner, S. (2006). “Modern and fossil charcoal: aspects of structure and diagenesis”. *Journal of Archaeological Science*, 33: 428-439 pp.
- Conway, G. (1999) “The Doubly Green Revolution: Food for All in the Twenty-First Century”, *Cornell University Press*, Ithaca, NY, US. 352pp.
- Cossoli, M. (2019), “Valija de campaña de Microbiología”; *comunicacion personal*.
- Di Rienzo J.A.; F. Casanoves, M.G.; Balzarini, L.; Gonzalez, M.; Tablada, C.W. Robledo. (2016) InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>. (última consulta 30/10/2017)
- Dominchin, M. F.; Verdenelli, R. A.; Aoki, A.; Marín, R. H.; Vargas Gil, S.; M.s, J. M. (2018) “Respuesta de la microbiota a la aplicación de biochar en suelos con diferentes grados de deterioro edáfico”. XXVI CACS Tucumán 2018 C2P9
- Downie, A.; Crosky A.; Munroe P. (2009). “Physical properties of biochar.” In: J. Lehmann and S. Joseph (eds.). Biochar for environmental management: *Science and technology*. Earthscan. London, UK. pp. 13-30
- El-Naggar, A.; Awad, Y.M.; Tang, X.Y.; Liu, C.; Niazi, N.K.; Jien, S.H.; Tsang, D.C.; Song, H.; Ok, Y.S.; Lee, S.S. (2018a). “Biochar influences soil carbon pools and

facilitates interactions with soil: Afield investigation”. *Land Degrad. Dev.* <https://doi.org/10.1002/ldr.2896>. (última consulta 16/10/2019)

- El-Naggar, A.; Shaheen, S.M.; Ok, Y.S.; Rinklebe, J.; (2018b). “Biochar affects the dissolved and colloidal concentrations of Cd, Cu, Ni, and Zn and their phytoavailability and potential mobility in amining soil under dynamic redox-conditions”. *Sci. Total Environ.* 624: 1059–1071 pp.
- Foley, J.A.; DeFries, R.; Asner, G.P.; Barford, C.; Bonan, G.; Carpenter, S.R.; Chapin, F.S.; Coe, M.T.; Daily, G.C.; Gibbs, H.K.; Helkowski, J.H.; Holloway, T.; Howard, E.A.; Kucharik, C.J.; Monfreda, C.; Patz, J.A.; Prentice, I.C.; Ramankutty, N. and Snyder, P.K. (2005) “Global consequences of land use”, *Science*, 309:570–574pp.
- Franklin, R.E. (1950) “The interpretation of diffuse X-ray diagrams of carbon”, *Acta Crystallography*, 3:107–121pp
- Franklin, R.E. (1951) “Crystallite growth in graphitizing and non-graphitizing carbons”, *Proceedings of the Royal Society of London, Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 209:196–218pp.
- Havlin, J.L.; Tisdale, S.L.; Nelson, W.L.; Beaton, J.D.; (2014). “Soil Fertility and Nutrient Management: An Introduction to Nutrient Management”, 8th edition. Pearson, Upper Saddle River, NJ 505 pp.
- Igalavithana, A.D.; Ok, Y.S.; Usman, A.R.; Al-Wabel, M.I.; Oleszczuk, P.; Lee, S.S.; (2015). “The Effects of Biochar Amendment on Soil Fertility. Agricultural and Environmental Applications of Biochar: Advances and Barriers”. *Soil Science Society of America, Inc, USA* (ISBN: 978-0-89118-967-1).
- Igalavithana, A.D.; Ok, Y.S.; Niazi, N.K.; Rizwan, M.; Al-Wabel, M.I.; Usman, A.R.; Moon, D.H.; Lee, S.S.; (2017). “Effect of corn residue biochar on the hydraulic properties of sandy loam soil”. *Sustain. For.* <https://doi.org/10.3390/su9020266>. (última consulta 16/10/2019)
- Kimetu, J.; Lehmann, J.; Ngoze, S.; Mugendi, D.; Kinyangi, J.; Riha, S.; Verchot, L.; Recha, J. and Pell, A. (2008) “Reversibility of soil productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient”, *Ecosystems*, 11:726–739 pp.
- Körschens, M.; Albert, E.; Baumecker, M.; Ellmer, F.; Grunert, M.; Hoffmann, S.; Kismanyoky, T.; Kubat, J.; Kunzova, E.; Marx, M.; Rogasik, J.; (2014). “Humus

und Klimaänderung-Ergebnisse aus 15 langjährigen Dauerfeldversuchen”. *Arch. Agron. Soil Sci.* 60 (11):1485–1517 pp. <https://doi.org/10.1080/03650340.2014.892204>. (Última consulta 16/10/2019)

- Kuzyakov, Y.; Bogomolova, I.; Glaser, B.; (2014). “Biochar stability in soil: decomposition during eight years and transformation as assessed by compound-specific ^{14C} analysis”. *Soil Biol. Biochem.* 70: 229–236 pp. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.12.021>. (Última consulta 16/10/2019)
- Lal, R., (2015). “Restoring soil quality to mitigate soil degradation”. *Sustain. For.* 7,5875–5895.
- Lehmann, J. (2009) “Terra preta Nova – where to from here?” in W. I. Woods, W.G.Teixeira, J. Lehmann, C. Steiner and A.WinklerPrins (Eds) *Terra preta Nova: A Tribute to Wim Sombroek*, Springer, Berlin, 473–486 pp.
- Lehmann, J.; Gaunt, J. and Rondon, M. (2006) “Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems – a review”, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11:403–427 pp.
- Liang, B.; Lehmann, J.; Solomon, D.; Kinyangi, J.; Grossman, J.; O’Neill, B.; Skjemstad, J.O.; Thies, J.; Luizão, F.J.; Petersen, J. and Neves, E.G. (2006) “Black carbon increases cation exchange capacity in soils”, *Soil Science Society of America Journal*, 70:1719–1730 pp.
- Major, J.; Lehmann, J.; Rondon, M. and Goodale, C. (2010). Fate of soil-applied black carbon: Downward migration, leaching and soil respiration. *Global Change Biology* 16: 1366-1379 pp.
- Mandal, S.; Sarkar, B.; Bolan, N.; Novak, J.; Ok, Y.S.; Van Zwieten, L.; Singh, B.P.; Kirkham, M.B.; Choppala, G.; Spokas, K.; Naidu, R.; (2016). “Designing advanced biochar products for maximizing greenhouse gas mitigation potential”. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 46: 1367–1401. <https://doi.org/10.1080/10643389.2016.1239975>. (Última consulta 16/10/2019).
- Matson, P.A.; Parton, W.J.; Power, A.G. and Swift, M.J. (1997) ‘Agricultural intensification and ecosystem properties’, *Science*, 277: 504–509 pp.
- Mekuria, W.; Langan, S.; Noble, A.; Johnston, R.; (2016). “Soil restoration after seven years of exclosure management in northwestern Ethiopia”. *Land Degrad. Dev.* <https://doi.org/10.1002/ldr.2527>. (Última consulta 16/10/2019)

- Montenegro González, H., D.; Malagón Castro, Guerrero L.; (1990). “Propiedades Físicas de los Suelos”. *Subdirección Agrológica. I.G.A.C.* (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). Bogotá, Colombia. 813 p.
- Petersen, J.B.; Neves, E.; Heckenberger, M.J. (2001) ”Gift from the past:Terra Preta and prehistoric Amerindian occupation in Amazonia”, in C. McEwan, C. Barreto and E. Neves (eds) *Unknown Amazonia*, British Museum Press, London, UK, 86–105 pp.
- Porta J., López Acevedo M. y C. Roquero. (1994). “Edafología. Para la agricultura y el medio ambiente”. Ediciones *Mundi-Prensa*, 917 pp
- Robertson, G.P; Swinton, S.M. (2005) “Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: A grand challenge for agriculture”, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3:38–46
- Rouquerol, F.; Rouquerol I.; Sing K. (1999). “Adsorption by powders and porous solids”. *Academic Press*. London, UK. 467pp.
- Schmidt, M.W. I. ; Noack, A.G.; (2000) “Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications, and current challenges”, *Global Biogeochemical Cycles*, 14::777–794 pp
- Sohi, S.; Loez-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*, 64 pp.
- Sparks, D.L. (1996) “Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods”. *Soil Science Society of America, American Society of Agronomy*, Madison. 1390pp.
- Steiner, C.; Teixeira, W.G.; Lehmann, J.; Nehls, T.; Macedo, J.L.V.; Blum, W.E.H. and Zech, W. (2007) ‘Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil’, *Plant and Soil*, 291: 275–290 pp
- Symeonakis, E.; Karathanasis, N.; Koukoulas, S.; Panagopoulos, G. (2016). “Monitoring sensitivity to land degradation and desertification with the environmentally sensitive area index: the case of lesvos island”. *Land Degrad. 27*: 1562–1573 pp.
- *The International Biochar Initiative (IBI)* International Biochar Initiative (2010) IBI “Guidelines for the Development and Testing of Pyrolysis Plants to Produce

Biochar” <http://www.biochar-international.org/sites/default/files/IBI-Pyrolysis-Plant-Guidelines.pdf>. (Última consulta 30/10/17).

- Tilman, D. (1998) “The greening of the Green revolution”, *Nature*, 396:211–212 pp.
- Tomei, C.E. (1998), “Valija de campaña de Forrajicultura” *comunicación personal*.
- Vazquez, S. (1993) “Introducción para el uso de la valija de análisis”
- Verheijen, F. G. A.; Jeffery S.; Bastos A. C.; Van der Velde M. and Diafas I. (2009). “Biochar application to soils - A critical scientific review of effects on soil properties”. *Processes and Functions*. EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities. Luxembourg.
- Zhang, M.; Ok, Y.S. (2014). “Biochar soil amendment for sustainable agriculture with carbon and contaminan sequestration”. *Carbon Manage.* 5: 255–257 pp. <https://doi.org/10.1080/17583004.2014.973684>. (Última consulta 16/10/2019)