

"Efectos de la aplicación de biochar en el modelo jerárquico de agregados de un suelo forestal bajo condiciones oceánicas"

RESUMEN: El objetivo del presente proyecto ha sido estudiar los efectos del biochar en el modelo jerárquico de agregación del suelo. Para estudiar estas propiedades se ha realizado una incubación de tres tratamientos de biochar *Miscanthus* (biochar 10t/ha (B10), 2t/ha (B2) y 10t/ha+Nitrógeno (BN), durante 91 días, realizando fraccionamientos en húmedo de las muestras los días 28, 43, 63, 77 y 91. En estos fraccionamientos se han separado las fracciones macroagregrado (LMagg+Magg), microagregados (magg), limos (Silt) y arcillas (Clay). Por último se determinó el C orgánico de todas las fracciones de los tratamientos obtenidos con el objeto de obtener información sobre el efecto que puede tener la aplicación del biochar sobre la estabilización de C en las fracciones del suelo

Los resultados obtenidos indican que con la aplicación de biochar, la teoría jerárquica de agregación propuesta por Tisdall y Oades (1982), no se cumple en la dinámica de agregación del suelo, si bien se puede observar una jerarquía en la estabilización del C orgánico en los macroagregados y microagregados. Además las dosis altas de biochar producen mayor cantidad de microagregados, favoreciendo el secuestro de C en el suelo. Por otro lado, con dosis altas de biochar se aprecia una disminución de la fracción de macroagregados, hecho que puede influir negativamente en la estructura del suelo.

Palabras clave: Biochar, *Miscanthus*, dinámica de agregación, secuestro de C.

RESUM: L'objectiu d'aquest projecte ha estat estudiar els efectes del biochar en el model jeràrquic d'agregació del sòl. Per estudiar aquestes propietats s'ha realitzat una incubació de tres tractaments de biochar *Miscanthus* (biochar 10t/ha (B10), 2t/ha (B2) i 10t/ha + Nitrogen (BN), durant 91 dies, realitzant fraccionaments en humit de les mostres els dies 28, 43, 63, 77 i 91. En aquests fraccionaments s'han separat les fraccions macroagregrats (LMagg + Magg), microagregats (magg), llims (Silt) i argiles (Clay). Finalment es va determinar el C orgànic de totes les fraccions dels tractaments obtinguts per tal d'obtenir informació sobre l'efecte que pot tenir l'aplicació del biochar sobre l'estabilització de C en les fraccions del sòl

Els resultats obtinguts indiquen que amb l'aplicació de biochar, la teoria jeràrquica d'agregació proposada per Tisdall i Oades (1982), no es compleix en la dinàmica d'agregació del sòl, si bé es pot observar una jerarquia en l'estabilització del C orgànic en els macroagregats i microagregados. A més les dosis altes de biochar produueixen major quantitat de microagregados, afavorint el segrest de C en el sòl. D'altra banda, amb dosis altes de biochar s'aprecia una disminució de la fracció de macroagregats, fet que pot influir negativament en l'estructura del sòl.

Paraules clau: biochar, *Miscanthus*, dinàmica d'agregació, segrest de C.

ABSTRACT: The objective of this project was to study the effects of biochar on soil aggregation hierarchical model. To study these properties was made performing an incubation for three biochar *Miscanthus* treatments (biochar 10t/ha (B10), 2t/ha (B2), and 10t/ha + nitrogen (BN), during 91 days, making wet fractionations of the samples on days 28, 43, 63, 77 and 91. In this process, fractions macroagregrado (LMagg + Magg), microaggregates (Magg), silt (silt) and clay (Clay) were separated. Finally organic C was determined in all fractions obtained from the fractionation, in order to obtain information about the possible effects of biochar implementation in soils C sequestration capability.

The results indicate that with the application of biochar, hierarchical aggregation theory proposed by Tisdall and Oades (1982), is not satisfied in the dynamics of soil aggregation, although you can see a hierarchy in the stabilization of organic C in macroaggregates and microaggregates. Highest biochar doses promoted microaggregate production, favoring C sequestration in soil. On the other hand, highest biochar doses caused a macroaggregate decrease, a fact that can adversely affect soil structure.

Keywords: Biochar, *Miscanthus*, dynamic aggregation, C sequestration.

Introducción

Uno de los grandes problemas que enfrenta la humanidad en la actualidad es el cambio climático. De acuerdo con los estudios realizados a partir de las iniciativas del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), hoy se sabe que el cambio climático ha sido acelerado por el actuar del hombre; y está afectando a la mayoría de los ecosistemas, además de la forma de vida, la salud y la economía en muchas regiones del planeta (IPCC, 2007).

El principal agente de CC es el efecto invernadero ampliado producido por el aumento, en la atmósfera, de la cantidad de una serie de gases tales como CO₂, CH₄, NO_x y vapor de agua entre otros (Villalobos, 1999; SEMARNAT/PNUMA, 2006; Masera et al., 1995; De Jong, 1997). Actualmente, existe un fuerte consenso científico que el clima global se verá alterado significativamente, en el siglo XXI, como resultado del aumento de concentraciones de gases invernadero tales como el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxidos nitrosos (NO_x) y clorofluorocarbonos (CFCs) (Houghton et al., 1990, 1992). Estos gases están atrapando una porción creciente de radiación infrarroja terrestre y se espera que hagan aumentar la temperatura planetaria entre 1,5 y 4,5 °C.

Después de los océanos, el suelo es el segundo sumidero de CO₂ más importante del planeta. Uno de los factores que influyen en la pérdida de carbono (C) de los suelos a largo plazo son las prácticas de cultivo (Informe sobre la Conferencia del Cambio Climático, 2012).

Un acercamiento existente para extraer carbono de la atmósfera es el de cultivar plantas que secuestren el dióxido de carbono en su biomasa o en la materia orgánica del suelo. La mejora del suelo no es un lujo, sino una necesidad en muchas regiones del mundo. En este contexto, el biochar tiene la capacidad de jugar un rol importante en la expansión de opciones de gestión sostenible del suelo mejorando las prácticas de gestión existentes, y no solo aumentando la productividad del suelo, también disminuyendo el impacto ambiental en los recursos del suelo e hídricos

Objetivos

El objetivo general de este proyecto la determinación del efecto del biochar de *Miscanthus* en la dinámica de agregación de macroagregados en un suelo forestal de *Pinus radiata* con condiciones de clima oceánico

Los objetivos específicos han sido,

- Realizar cinco fraccionamientos, a lo largo de una incubación de 91 días, de 60 ensayos de un suelo forestal.
- Estudiar la formación y dinámica de agregación de la estructura del suelo, bajo condiciones de laboratorio, de tres tratamientos de Biochar (Biochar 10t C/ha (B10), Biochar 2t C/ha (B2), Biochar con Nitrógeno (0,8%) 10t C/ha (BN) y Control (BC)) a lo largo de 91 días de incubación.
- Determinar el Carbono Orgánico total, para cada tratamiento y tamaño de agregado, en cada fraccionamiento a lo largo de 91 días bajo condiciones de laboratorio.

Metodología

El presente ensayo consistió en la realización de un ensayo de laboratorio para medir los efectos de la aplicación de biochar en el suelo, en el modelo jerárquico de agregación y en la dinámica de asimilación de C.

Se obtuvieron muestras de los primeros 10cm de un suelo afectado por el clima oceánico y cultivado con *pinus radiata* desde hace 20 años. Estas muestras se tamizaron a 250µm con el

objetivo de romper los macroagregados presentes en el suelo. Tras esto se les añadió la cantidad equivalente de los tratamientos citados en los objetivos, para la superficie de nuestros anillos de cultivo (5cm Ø y 2,5 de profundidad). Una vez montados los 60 anillos de incubación (3replicadas x 4 tratamientos x 5 fraccionamientos), se colocaron sobre una tela de nylon de 53µm suspendidas en tarros cerrados herméticamente y se pusieron a incubar a 25°C e. Los botes se airearon cada 3-4 días evitar el consumo de todo el oxígeno por parte de los microorganismos del suelo.

A lo largo de los 91 días de incubación se realizaron 5 fraccionamientos, los días 28, 43, 63, 77 y 91. El fraccionamiento en húmedo se realizó tal y como explicó Elliot (1988), en un tamizador Eijkelkamp. Mediante esta técnica se separaron los macroagregados grandes (LMagg), los macroagregados (Magg), los microagregados (magg), los limos (Silt) y las arcillas (Clay). A todas las muestras recuperadas se les realizó una determinación de C orgánico mediante una oxidación empleando dicromato y ácido sulfúrico 1 150°C.

Los datos obtenidos fueron analizados mediante el programa StatView realizando un análisis de varianza ANOVA de medidas repetidas, con un nivel de probabilidad de $p=0,05$.

Resultados

Dinámica de agregación del suelo tras los tratamientos

En la figura 1 se pueden ver la evolución de las fracciones LMagg, Magg, magg, Silt y Clay a lo largo de los 91 días de incubación para los 4 tratamientos, y sus barras de desviación.

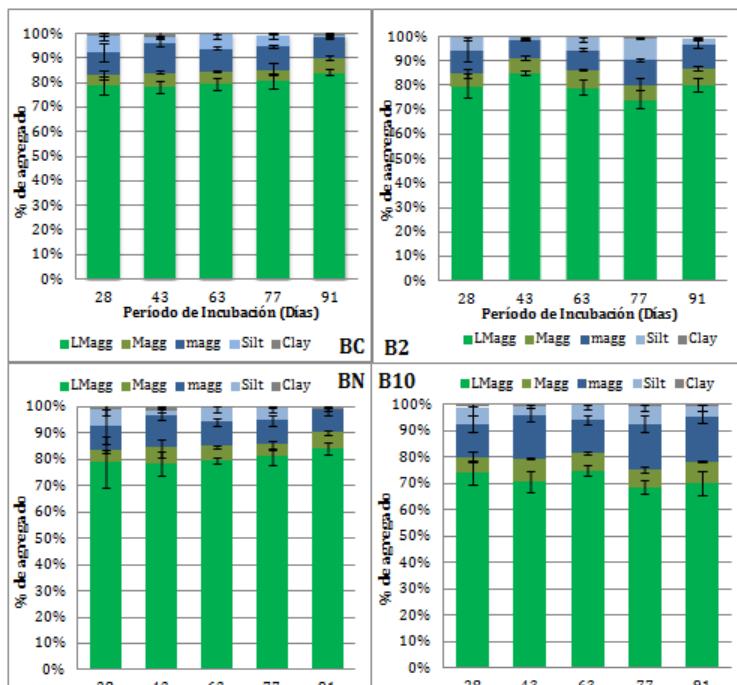


Figura 1: Distribución del porcentaje de cada tamaño de agregados del suelo y sus respectivas desviaciones estándar, respecto a los tratamientos BC, B2, B10 y BN. A lo largo del período de incubación

El análisis estadístico indica que en las fracciones **LMagg, Magg y magg** se pueden diferenciar dos bloques de tratamientos con diferencias significativas entre ellos a lo largo de toda la incubación. BC y B2 (BC-B2) forman un grupo, mientras que B10 y BN (B10-BN) forman otro. BC-B2 no tienen diferencias significativas entre ellos, al igual que B10-BN. Observando estos dos grupos, se puede apreciar un efecto dosis.

Con los tratamientos de BC-B2, se forman una mayor cantidad de **LMagg** durante todo el período de incubación que con los tratamientos B10-BN.

En la fracción **Magg**, en los tratamientos B10-BN se forman una mayor cantidad de agregados que BC-B2, tal y como muestran las diferencias significativas obtenidas entre estos tratamientos. El porcentaje de **Magg** el día 28 es ligeramente inferior para todos los tratamientos que para el resto de los días de la incubación. Tras esto, desde el día 43 hasta el 91 el análisis estadístico no representa diferencias significativas entre los valores obtenidos con diferentes dosis.

En la fracción **magg** no se ven diferencias significativas en los tratamientos a lo largo del período de incubación. Los porcentajes de las fracciones B10-BN se mantienen estables a lo largo de la incubación. Como se puede ver los porcentajes de B10-BN son superiores a BC-B2 a lo largo de toda la incubación.

Tanto en la fracción **Silt**, como en la **Clay** no hay diferencias significativas entre ninguno los tratamientos aplicados. Sin embargo, en la fracción **Silt** se puede ver una oscilación significativa en los valores de la dinámica de agregación, disminuyendo del día 28 al 43, volviendo a aumentar para el día 63 y descendiendo de nuevo para el final de la incubación, en el día 91.

Distribución del C orgánico dentro de las diferentes fracciones de agregados

En el Figura2 se pueden ver las diferentes concentraciones de C orgánico para los tratamientos BC, B2, B10 y BN, y sus fracciones, a lo largo de los 91 días de incubación.

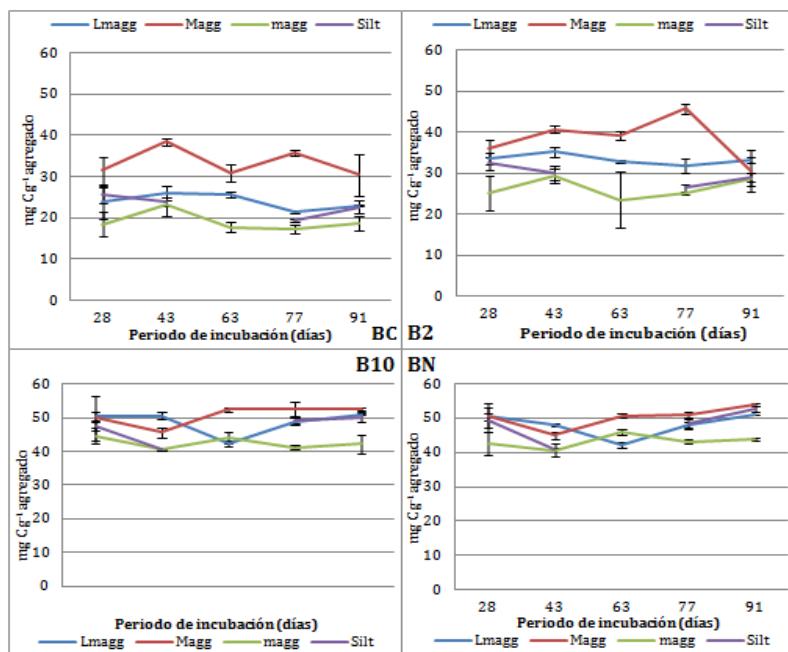


Figura 2: Variación de la concentración de C orgánico para cada tamaño de agregado del suelo en los tratamientos BC, B2, B10 y BN, a lo largo de todo el período de incubación. Las barras de error representan las desviaciones estándar

En lo que respecta a la concentración de C orgánico y los diferentes tratamientos aplicados al suelo, no hay diferencias significativas entre los tratamientos B10 y BN (B10-BN), mientras que sí que lo hay entre B10-BN y B2 (P-valor <0,001) y BC (P-valor <0,001), en todas las fracciones analizadas. También hay diferencias entre los tratamientos B2 y BC (P-valor <0,001). Los tratamientos B10-BN tienen siempre una mayor concentración de C orgánico que B2 y BC, pudiendo verse una mayor concentración en B2 respecto a BC durante todo el período de incubación. Estos valores tan

significativos representan claramente el efecto de la dosis aplicada al suelo en la concentración de C, obteniendo mayor concentración de C en los tratamientos en los que se aplicó mayor cantidad de biochar (C), respecto al Control.

También se puede ver que las concentraciones de C orgánico no varían mucho entre las diferentes fracciones de los tratamientos analizados a lo largo de los 91 días. B10-BN tienen una concentración aproximada del 50 mg C g^{-1} de agregado en todos los tamaños de agregados, y B2 y BC rondan los 32 mg C g^{-1} de agregado y 25 mg C g^{-1} de agregado respectivamente, salvo en la fracción Magg, en la que los valores varían ligeramente al alza.

La concentración de C orgánico en la fracción **LMagg** se mantuvo estable, salvo en el día 63, que presenta un descenso en la concentración de C orgánico para los tratamientos B10-BN, y volviendo a subir tanto el día 77 y en el quinto fraccionamiento en el día 91. En ambos casos presenta un descenso significativo de casi 8 mg C g^{-1} de agregado, para el día 91 volver a niveles iniciales. Tanto en BC, como en B2, no se dan diferencias importantes en la concentración de C orgánico en el tiempo de incubación.

En la fracción **Magg**, en los tratamientos B10-BN se da un ligero incremento de las concentraciones de C, aumentando un $0,3 \text{ mg C g}^{-1}$ agregado en ambas fracciones, desde el día 28 hasta el final de la incubación. En el tratamiento B2 se ve un incremento de la concentración de C desde el día 43 hasta el día 77, sufriendo una disminución muy importante del día 77 ($5 \pm 1 \text{ mg C g}^{-1}$ agregado) al 91, ($30,4 \pm 5,1 \text{ mg C g}^{-1}$ agregado) cayendo su concentración hasta los valores del tratamiento BC el mismo día ($30,4 \pm 5,2 \text{ mg C g}^{-1}$ agregado).

En la fracción **magg**, no se ve diferencia significativa en la concentración de C orgánico a lo largo del período incubación en ninguna de las dosis aplicadas al suelo, es decir, que no varían a lo largo del tiempo. En lo que respecta a las concentraciones, en B10-BN es superior a B2 y BC, y B2 es ligeramente superior a BC, rondando los B10 y BN los 44 mg C g^{-1} de suelo, el B2 un 27 mg C g^{-1} y un 20 mg C g^{-1} el BC.

Stock de C orgánico en el suelo

La distribución del C orgánico en las diferentes fracciones puede verse en la Figura 3.

Cabe destacar que el mayor stock de C orgánico del suelo se almacena en la fracción LMagg a lo largo de todo el período de incubación. En análisis estadístico presenta diferencias significativas los días 63 y 91 del fraccionamiento en BC-B2, respecto B10-BN, habiendo un mayor stock de C en los primeros. También se aprecia un aumento del C retenido en la fracción magg con los tratamientos B10 y BN respecto a los valores obtenidos en B2 y BC, durante los 91 días de incubación.

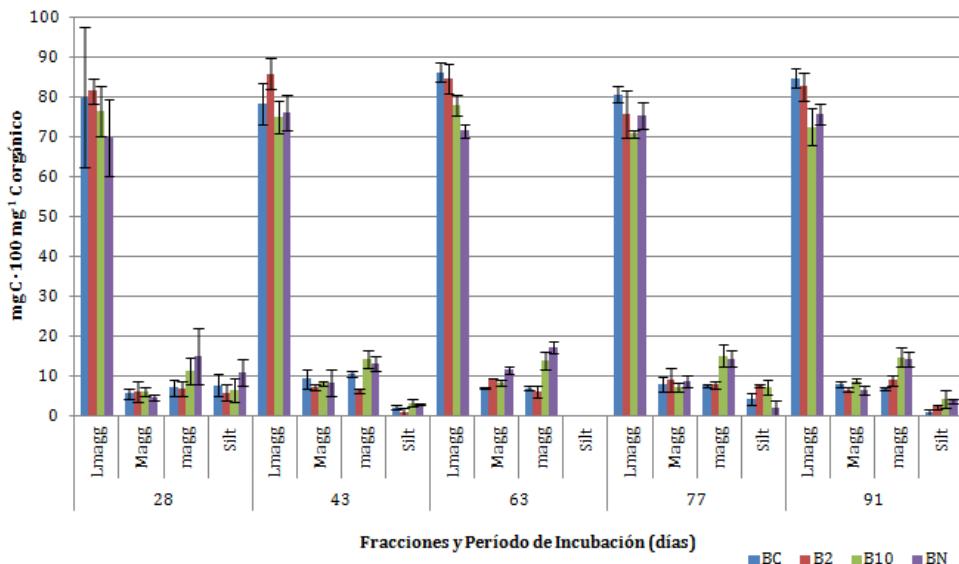


Figura 3. Stock de C orgánico en las fracciones LMagg, Magg, magg y Silt a lo largo del periodo de incubación para los tratamientos BC, B2, B10 y BN y sus desviaciones.

Los tratamientos B10 y BN producen una disminución significativa del stock de carbono en la fracción LMagg, respecto a BC y B2. Esta disminución del stock de C entre B10-BN y BC-B2, se mantiene a lo largo de toda la incubación.

El incremento de la dosis de biochar produce un incremento significativo en la cantidad de C almacenado en la fracción **magg**, si bien no hay diferencia entre los stock en el tiempo de incubación.

Discusión

El modelo jerárquico de agregación propuesto por Tisdall y Oades (1982) explica las interacciones entre la MOS y los agregados. En este modelo se emplea el término “jerárquico” para postular los diferentes agentes de unión (agentes transitorios, temporales y persistentes), que actúan a diferentes niveles de agregación del suelo. Las siguientes observaciones para identificar la existencia de un modelo jerárquico de agregación en el suelo; 1) la descomposición gradual de los macroagregados en microagregados, 2) un incremento de la concentración de C junto con el incremento del tamaño de agregado, y 3) un contenido más alto de C nuevo y más lábil en los macroagregados que en los microagregados.

Dinámica de agregación del suelo y C orgánico de los agregados

El análisis estadístico indica que hay diferencias entre los tratamientos B10-BN y BC-B2 en lo que respecta la dinámica de agregación del suelo y el contenido de C orgánico asimilado en los agregados, lo cual nos indica que el tratamiento con dosis más baja de biochar no presenta diferencias significativas con el tratamiento BC.

En primer lugar se observa que la proporción de LMagg es mayor en los tratamientos BC-B2, en comparación con los tratamientos B10-BN, además cabe señalar que esta proporción se mantiene estable durante todo el periodo incubación para los cuatro tratamientos.

Durante los 29 primeros días se formaron los LMagg y los Magg, tanto para los tres tratamientos aplicados como para el tratamiento control. Las muestras fueron incubadas a temperatura y

humedad constante, creando de este modo condiciones óptimas para el crecimiento de los microorganismos. Así pues, esto pudo haber facilitado el gran crecimiento de la biomasa microbiana en estos primeros días de incubación y aún sin poder corroborarlo por falta de datos, este hecho podría haber sido el causante de la macroagregación inicial del suelo, que se ha podido dar a partir de 4 mecanismos; 1) alteración de la materia orgánica o degradación microbiana, 2) unión de las células a las partículas del suelo, 3) producción de EPS (Sustancias Poliméricas Extracelulares) y, 4) construcción de biofilms por la comunidad microbiana, produciendo la agregación de las partículas del suelo (Mueller, R.F., 1996).

Además de éstas condiciones óptimas para el crecimiento de la biomasa, Guo y Rockstraw (2007), mostraron que a medida que aumenta la temperatura del proceso de pirolisis, la cantidad de cenizas en el biochar también aumenta. Esta ligera cantidad de cenizas aporta nutrientes al suelo que pueden quedar disponibles para los microorganismos, debido al efecto de encalado que produce el biochar, al aumentar el valor del pH de su entorno (Glaser et al. 2002; Lehmann and Rondon 2006). Éstos microorganismos son muy sensibles a los cambios de pH, ya que puede hacer cambiar la masa microbiana, la actividad y estructura del grupo (Pietri, A., 2008; Brookes, 2009). No obstante, Tryon (1948) mostró que en los suelos arenosos y limosos el incremento del pH debido a la adición de biochar, era mayor que en los suelos arcillosos.

La colonizaciones por microorganismos observadas tras la adición del biochar se pueden atribuir a tres mecanismos: 1) La estimulación directa debida al incremento de disponibilidad de C, N y micronutrientes liberados por el biochar, 2) un microentorno más favorable provisto por la "charsphera" (superficie del biochar que interactúa con el entorno) y, 3) disminución de la toxicidad de Al y Mn, y un incremento de la solubilidad del suelo debido al incremento del pH (Luo, Y. et al., 2013).

Así pues, aunque se podría esperar un aumento de la macroagregación del suelo en los tratamientos con altas dosis de biochar a causa de la estimulación de la actividad microbiana, los resultados muestran que la proporción de LMagg es menor en estos tratamientos. Este hecho puede haber sido causado por la promoción de interacciones entre la MOS y los minerales del suelo, causadas por los productos de oxidación que contiene el biochar y que a su vez han podido estimular la creación de magg y consecuentemente Magg.

La mayor parte de los efectos del biochar en las condiciones del suelo, están influenciados por los productos de oxidación que contienen como, grupos funcionales acídicos y material húmico (Cheng et al., 2006). Un mecanismo potencial es la oxidación de los grupos funcionales de la superficie del biochar, que favorece la interacción de la materia orgánica del suelo y la fracción mineral (Lehmann et al, 2005; Glaser et al, 2002). Investigaciones previas han mostrado que las sustancias húmicas pueden emplearse como acondicionadores para incrementar la estabilidad de los agregados (Piccolo & Mbagwu, 1990; Piccolo et al., 1997; Imbufe et al., 2005), hecho que puede percibirse a partir de la formación de complejos *arcilla-humus* por las sustancias húmicas (Piccolo et al., 1997).

Así, la gran proporción de microagregados que se observa en las muestras con altas dosis de biochar, puede haberse debido a esta formación de complejos *arcilla-humus* en la que participa el biochar. A su vez, los microagregados pueden estar siendo unidos entre sí mediante la acción microbiana, que forma agentes temporales de unión, para formar los Magg. Esta podría ser la explicación aunada del proceso de incremento de la fracción Magg y la disminución de Silt en el suelo hasta el día 43.

La fracción Magg presenta un descenso brusco de la concentración de C orgánico del día 77 al 91 en el tratamiento B2, sin que se observe un descenso en la proporción de agregados del mismo tamaño. Junto con la disminución de la concentración de C orgánico de Magg, se observa un ligero incremento de la concentración de C orgánico en el resto de fracciones, que en total, no pueden

explicar la pérdida del C. Parece que este descenso no ha podido ser debido a la mineralización, ya que la proporción de Magg en la dinámica de agregación para el día 77, permanece estable. A diferencia del tratamiento B2 las concentraciones de C orgánico en la fracción Magg en los tratamientos B10 y BN, permanecen estables en este período, al igual que la proporción de sus fracciones.

Así, se concluye que la dinámica de agregación del suelo de las muestras con tratamiento de biochar, no sigue el modelo jerárquico de agregación del suelo propuesto por Tisdall y Oades (1982), en el que se espera que haya una descomposición gradual de los macroagregados en microagregados (Oades y Waters, 1991). Del mismo modo, cabe destacar que en lo que se refiere a la concentración de C orgánico en las diferentes fracciones, si que sigue una jerarquía en LMagg, Magg y magg, ya que a mayor tamaño de agregado, mayor contenido de C orgánico

Stock de C en el suelo

Respecto a la capacidad de retención de C de los diferentes tratamientos, cabe destacar que en B2 y BC se retiene una mayor cantidad de C orgánico en la fracción LMagg. Esto es debido a la mayor cantidad LMagg presente en estos tratamientos, y por consiguiente a la menor ruptura y liberación de C orgánico.

El incremento de la fracción magg del suelo, promueve el secuestro de carbono, ya que como se ha indicado antes, protege mejor la MOS y la preserva de la degradación microbiana, pero a su vez empeora la estructura del suelo, disminuyendo la densidad aparente del suelo, la resistencia a la erosión, aumento de la infiltración del agua y dificultando el enraizamiento de las plantas; factores que se ven favorecidos por la formación de LMagg.

Cabe destacar que en los tratamientos en los que se ha aplicado biochar, parece haber una estabilidad en la retención de C por las fracciones LMagg y magg, hecho que podría explicarse por la estabilidad que presenta el C orgánico en este producto a lo largo del tiempo.

El stock de C retenido en la fracción Silt era ligeramente superior al de Magg en el día 29 de incubación, posiblemente debido a los complejos *arcilla-humus* que se estaban formando e integrándose en los magg para dar finalmente Magg. Este parece ser un posible motivo de la disminución del stock de C en la fracción Silt.

Efectos del Estudio Sobre el Secuestro de Carbono y las Propiedades del Suelo

Como se ha podido ver, la aplicación del biochar en altas dosis en el suelo, parece tener efecto en la dinámica de agregación, favoreciendo la formación de microagregados. Esto puede tener un efecto positivo sobre la retención de C en el suelo, ya que es en la fracción microagregados donde mejor se protege la MOS.

A su vez, se ha observado una disminución de los macroagregados del suelo. Estos, juegan un papel muy importante en la infiltración del agua, debido a la macroporosidad que presentan en su estructura. Estos macroporos facilitan la infiltración del agua, disminuyendo la posibilidad de la escorrentía superficial y de la erosión.

Como el biochar es estable en el suelo, tiene potencial para modificar directamente la capacidad de retención de agua a largo plazo, a través de sus macroporos. La distribución del tamaño de partículas en suelos con enmiendas de biochar puede tener un impacto en la textura del suelo a macroescala, pero sus efectos deberían de ser a corto plazo, ya que el biochar parece dividirse rápidamente en partículas de tamaño limo o inferiores (Brodowsky et al, 2007). A largo plazo, los efectos del biochar en la humedad disponible serán positivos en suelos arenosos, normalmente

dominados por poros mucho mayores que los presentes en el biochar, que en suelos con texturas medias y potencialmente perjudicial en la retención de humedad en suelos arcillosos.

Además de mejorar la capacidad de retención de agua, el biochar puede tener capacidad de disminuir la pérdida de nutrientes por lixiviación, aumentando el ciclado de los nutrientes, como se ha podido observar en varios estudios de campo. Aún no se han podido describir los procesos subyacentes, ya que no han sido demostrados directamente. En general, tanto la fracción mineral como la orgánica contribuyen a la capacidad de intercambio catiónico en el suelo. Esta capacidad puede retener los nutrientes, y ponerlos a disponibilidad de las plantas más adelante.

La gestión del suelo requiere tener en cuenta muchos factores diferentes entre sí, que en algunos casos son contradictorios los unos con los otros. La adición de biochar parece tener efectos positivos a la hora de mejorar la capacidad de secuestro de C en enmiendas de gran cantidad, pero parece también que disminuyen la proporción de macroagregados respecto a los microagregados en el suelo. Ante este caso existe la disyuntiva de tener que elegir entre una buena estructura del suelo o una mayor capacidad de secuestro de carbono.

El biochar presenta propiedades que pueden favorecer el crecimiento vegetal, tales como el incremento de retención de agua y gran capacidad de intercambio catiónico. A la hora de gestionar el suelo se deberá estudiar si estas propiedades del biochar, pueden compensar de algún modo la disminución de la calidad de suelo que parece crear en el suelo.

Conclusiones

- La aplicación de biochar en el suelo, produce una mayor cantidad de microagregados a dosis altas, reduciendo la accesibilidad de los microorganismos al C orgánico.
- Al aplicar biochar en el suelo, la teoría jerárquica de agregación no se cumple en la dinámica de agregación del suelo para ninguna de las dosis aplicadas, aunque se observa una jerarquía para la estabilización de C orgánico en los macroagregados y microagregados, pero no para la fracción limo.
- La creación de microagregados promovida por los tratamientos con altas dosis de biochar favorece el secuestro de C en el suelo a largo plazo, pudiendo ser empleado como una pieza más en la mitigación del cambio climático.
- Sin embargo, el biochar no fomenta la formación macroagregados, pudiendo producir una disminución de la calidad estructural del suelo.
- Se debe continuar con la mejorara del conocimiento sobre los efectos que pueden producir los diferentes tipos de biochar obtenidos, por procesos diferentes de pirólisis, sobre la dinámica de agregación del suelo, debido a que las diferencias entre las funcionalidades de éstos puede ser grande.

Bibliografia

- Tisdall, J.M., Oades, J.M., (1982). Organic matter and water stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* Vol 33, pp 141-163.
- Brodowski, S., John, B., Flessa, W., Amelung, W., (2006). Aggregate-occluded black carbon in soil. *European Journal of Soil Science* Vol 57, pp- 539-546.
- Tisdall, J.M., Oades, J.M., (1982). Organic matter and water stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* Vol 33, pp 141-163.
- Luo, Y., Durenkamp, M., De Nobili, M., Lin, Q., Brookes, P.C., (2011). Short term soil priming effects and mineralisation of biochar following its incorporation to soils of different pH. *Soil Biology & Biochemistry* 43, pp. 2304- 2314.
- Burton, S.D., Cheng, C., Engelhard, M. H., Lehmann, J., Thies, J.E., 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. *Organic Geochemistry* 37, pp 1477-1488.
- Lehmann, J., Joseph, S., 2009. Biochar for environmental management. *Science and technology*. Earthscan
- PNUMA (2012). Mitigación del cambio climático y adaptación en la agricultura, la silvicultura y la pesca.
- Peterson, T.C., Baringer, M.O., 2009. State of the climate in 2008
- Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC
- Lehmann, J., 2007. A handful of carbon. *Nature* Vol 447, pp 143-144.
- Woolf, D., Amonette, J., Street-Perrot, F.A., Lehmann, J., Josepg, S., 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications*.
- Brocknick, C.J., Lal, R, 2004. Soil estructure anda management: A review. *Geoderma* 124 (2005),pp. 3 -22.