

Restauración ecológica del suelo aplicando biochar (carbón vegetal), y su efecto en la producción de *Medicago sativa*

*Soil ecological restoration applying biochar (charcoal) and its effects on the *Medicago sativa* production*

Luis Rafael Fiallos-Ortega¹, Luis Gerardo Flores-Mancheno²,
Nelson Duchi-Duchi³, Cesar Ivan Flores-Mancheno⁴, Darío Baño-Ayala⁵,
Luis Estrada-Orozco⁶

Fecha de recepción: 18 de enero de 2015
Fecha de aprobación: 23 de mayo de 2015

Resumen

En la provincia de Chimborazo (Ecuador), cantón Riobamba, barrio San Pedro de las Abras, se realizó el estudio de restauración ecológica del suelo mediante la aplicación de diferentes niveles de carbón vegetal (10, 20, y 30 t.ha⁻¹) y se evaluó su efecto en la producción forrajera de alfalfa *Medicago sativa*, bajo un Diseño de Bloques Completamente al Azar. Los resultados superiores se obtuvieron al aplicar 30 t.ha⁻¹ de carbón vegetal, así: en el primer corte se alcanzó el menor tiempo de ocurrencia a la floración (40,50 días), la mayor cobertura basal (39,35 %), la mayor cobertura aérea (86,0%), la mejor altura (87,98 cm), el mayor número de hojas por tallo (103,45) y, sobre todo, la mayor producción en forraje, tanto en materia verde (15,80 tFVha⁻¹corte) como en seca (33,38 tMSha⁻¹año), y en el segundo corte se alcanzó la mejor cobertura basal (86,55%)y aérea (95,42%), así como la mayor producción en forraje verde (15,92 t.ha⁻¹corte) y en materia seca (33,70 t.ha⁻¹ año). El análisis económico registró la mayor rentabilidad con30 t.ha⁻¹ de carbón vegetal con un beneficio-costo de 1,63. Se recomienda aplicar en *Medicago sativa*, 30 t.ha⁻¹ de carbón vegetal, por cuanto con esa cifra se obtuvo mayor cantidad de forraje verde por corte y se mejoró la calidad del suelo, lo que garantizará obtener rentabilidades económicas que beneficien a los productores y ganaderos, además de mejorar la calidad de los suelos.

Palabras clave: Alfalfa, biochar, restauración ecológica del suelo.

-
- 1 Ph.D. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Riobamba- Ecuador). lfiallos@esPOCH.edu.ec.
 - 2 Ph.D. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Riobamba- Ecuador). lflores@esPOCH.edu.ec.
 - 3 Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Riobamba- Ecuador).
 - 4 M.Sc. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Riobamba- Ecuador). c_flores@esPOCH.edu.ec.
 - 5 Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Riobamba- Ecuador).
 - 6 Profesional independiente (Riobamba- Ecuador).

Abstract

In the province of Chimborazo, Riobamba canton, and San Pedro of Abras neighborhood (Ecuador) an ecological restoration on the soil was studied by applying different levels of charcoal (10, 20 and 30 t.ha⁻¹) and its effect on the alfalfa *Medicago sativa* forage production was evaluated, under a block design completely randomized. The best results were obtained by applying 30 t.ha⁻¹ charcoal, in this way: In the first cut was reached the lowest flowering time occurrence (40,50 days) the highest basal coverage (39,35%) and highest aerial coverage (86,0%) the best height (87,98 cm) and the highest numbers of leaves per stem (103,45) and above all the highest forage production, both in green material (15,80 t.FV⁻¹ha⁻¹ cut) as in dried one (33,38 t.MS⁻¹ha⁻¹ year). In the second cut was achieved the best basal cover (86,55%) and aerial (95,42%) as well the largest production in green forage (15,92 t.ha⁻¹cut), and in dry matter (33,70 t.MS⁻¹ha⁻¹ year). The economical analysis registered the highest profitability with the 30 t.ha⁻¹ of charcoal cost-benefit of \$ 1,63.

It's recommended to apply in *Medicago sativa* 30 t.ha⁻¹ of charcoal, because with it a larger amount of green forage by cut was obtained and improved the soil quality, which will guarantee to obtain economic returns that benefit the agricultural and livestock producers.

Keywords: Alfalfa, charcoal, soil ecological restoration.

Introducción

Vargas (1) señala que la restauración ecológica implica un conjunto de técnicas y procedimientos que buscan, de manera integral, restaurar sistemas ecológicos con diferentes intensidades de deterioro; su importancia se deriva de la existencia generalizada de distintas formas de degradación de los recursos naturales y de las condiciones ambientales, manifestadas en aspectos como la pérdida de vegetación y de suelos, aguas contaminadas, pérdida de recursos genéticos, destrucción de partes vitales de hábitat, erosión, mortalidad y baja reproducción de las especies, cambios climáticos, geológicos y evolutivos, extinción de especies y, en general, el deterioro progresivo de distintos tipos de sistemas naturales modificados, cultivados y construidos (2).

Jackson (3) refiere que la preocupación más grande en América Latina ha sido incluir dentro de los sistemas de áreas protegidas muestras representativas de la diversidad natural de la región. El carbón vegetal es un producto mejorador de suelo, remueve eficazmente el dióxido de carbono neto de la atmósfera y su producción a partir de residuos vegetales urbanos, agrícolas y silvícolas puede ayudar a combatir los efectos del cambio climático global, desplazando el uso de combustibles fósiles, secuestrando el carbón en depósitos de carbono en el suelo y reduciendo dramáticamente las emisiones de óxidos nitrosos (4).

Materiales y métodos

La presente investigación se realizó en la provincia de Chimborazo, ciudad de Riobamba, en un

cultivo de alfalfa. El trabajo experimental tuvo una duración de 120 días. Se utilizó una pradera establecida de alfalfa, donde se aplicaron dosis de carbón vegetal triturado (Biochar) de 10 t.ha⁻¹ (T1), 20 t.ha⁻¹ (T2) y 30t.ha⁻¹ (T3) en 12 unidades experimentales delimitadas de acuerdo con el Diseño de Bloques Completamente al Azar y sorteo; el área total del campo experimental fue de 240 m² de área útil. Se partió con un corte de igualación, se realizó el análisis químico del suelo antes de la aplicación de los diferentes niveles de carbón vegetal. Las labores culturales del cultivo fueron el control de malezas y la aplicación del riego en función de las condiciones ambientales. El análisis estadístico de las variables de estudio se realizó mediante el paquete estadístico S.A.S versión 9.4.

El tiempo de ocurrencia a la prefloración se determinó en forma visual, se expresó en días, y se consideraron del 5% al 10% de las plantas con flor. La cobertura basal y aérea se evaluaron mediante el método de la línea de Canfield, que es bajo el siguiente procedimiento: se midió el área ocupada por la planta en el suelo y la parte media de la planta, en su orden; se sumaron las plantas presentes en el transecto, y, por relación, se obtuvo el porcentaje de cobertura basal y aérea. La producción de forraje verde (FV) se determinó por el Método del Cuadrante y se expresó en t.ha⁻¹. Para el caso de la materia seca (MS), se sometió una muestra de forraje a una temperatura de 105°C, para provocar su deshidratación, y, luego, por diferencia se calculó la MS. El rendimiento en MS (t.ha⁻¹) se obtuvo al multiplicar el rendimiento de FV por la MS en porciento (5).

Resultados y discusión

Tabla I. Comportamiento agrobotánico de la alfalfa (*Medicago sativa*) en el primer corte bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis de carbón vegetal.

VARIABLE	NIVELES DE CARBÓN VEGETAL			EE	Prob.
	10 t.ha ⁻¹	20 t.ha ⁻¹	30 t.ha ⁻¹		
	T1	T2	T3		
Tiempo de prefloración (días)	45,00 a	40,50 b	40,50 b	0.69	0.01
Cobertura basal (%)	39,25 a	37,30 a	39,35 a	0.87	0.25
Cobertura aérea (%)	80,05 b	84,90 ab	86,70 a	1.47	0.04
Altura de la planta (cm)	78,46 b	85,08 a	87,98 a	1.15	0.003
Producción forraje verde t.ha ⁻¹ corte	12,08 b	15,10 a	15,80 a	0.69	0.02
Producción materia seca t.ha ⁻¹ corte	26,92 b	30,80 ab	33,38 a	1.07	0.02
Número de tallos en planta	47,40 a	44,73 a	40,60 a	3.59	0.45
Número de hojas en tallo	98,10 ab	93,68 b	103,45 a	1.98	0.04

T: tratamiento, EE: Error estándar, Prob.: probabilidad.

Tiempo de ocurrencia a la prefloración (días)

En el primer corte, el tiempo de ocurrencia de la prefloración de la alfalfa *Medicago sativa* reportó diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0,01$), determinándose que las plantas con la aplicación de T2 y T3 requirieron de un menor tiempo (40, 50 días) en comparación con las que recibieron el T1, las cuales reportaron este estado más tardíamente, a los 45 días. De acuerdo con las respuestas antes descritas se afirma que mayores niveles de carbón vegetal aceleran el apareamiento de la prefloración en la alfalfa. Pérez y Carril (6) son de la opinión de que las plantas, a través de la fotosíntesis, son los únicos seres vivos que tienen la extraordinaria capacidad de tomar el carbono que existe en la atmósfera y el suelo, combinándolo con el agua y la luz proveniente del sol, para transformarlo en materia orgánica, como son la celulosa, los azúcares y los almidones.

Porcentaje de cobertura basal y aérea (%)

La cobertura basal de la alfalfa, en el primer corte, no registró diferencias estadísticas ($P > 0,05$) entre los diferentes niveles de carbón vegetal, únicamente

te diferencias numéricas, con valores de 39,35% (con T3, el más eficiente) y 37,30% (con T2, que fue el más bajo). El porcentaje de cobertura aérea reportó diferencias estadísticas altamente significativas ($P \geq 0,01$) entre los tratamientos aplicados a la alfalfa; la mayor cobertura aérea se obtuvo en las plantas a las que se les aplicó el T3, con 86,70%, seguidas por las del T2, con 84,90%, y finalmente las del T1, con 80,05%; este comportamiento se debe, de acuerdo con Robert (8), a que este tipo de enmienda actúa más lentamente que los fertilizantes químicos, pero su efecto es duradero y puede aplicarse frecuentemente, pues no deja secuelas perjudiciales en los cultivos o forrajes.

Altura de la planta (cm)

En la variable altura de la alfalfa se determinaron diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0,01$); la mayor altura se registró en las parcelas a las que se les aplicó el T3, con 87,98 cm, seguida de las del T2, con 85,08 cm, mientras que las respuestas menos eficientes fueron registradas en las parcelas del T1, con 78,46 cm.

Jackson (3) señala que el carbón vegetal tiene la capacidad de elevar la fertilidad natural del suelo;

dada su alta resistencia a la descomposición de la materia orgánica, así como su gran capacidad para retener nutrientes, al ser añadido a suelos pobres les aporta carbono muy resistente a su mineralización, el cual es absorbido por la planta, acelerando su desarrollo, es decir, aumentando su altura; además, hay que considerar que un buen suelo es esencial para la producción forrajera.

Producción de forraje verde y materia seca

La producción de forraje verde reportó diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$), estableciéndose la mejor producción de forraje verde en las parcelas donde se aplicó T3, con 15,80 tFVha⁻¹corte, mientras que el menor rendimiento forrajero se dio con T1, con valores de 12,08 tFVha⁻¹corte. La producción de materia seca registró diferencias significativas ($P \leq 0,05$), la mejor producción corresponde al T3, con 33,38t MSha⁻¹ año, y las

más bajas fueron reportadas en T1, con 26,92 tMSha⁻¹año. Imbach (9) detectó que para obtener el máximo aprovechamiento de los cultivos se les debe suministrar los elementos que precisen para completar su nutrición; la mayor parte de los nutrientes se reciclan por las raíces de la planta y vuelven al suelo a través de las hojas que caen de ella.

Número de hojas por tallo y tallos por planta

El número de hojas por tallo presentó diferencias estadísticas altamente significativas ($P > 0,01$), reportándose la mayor respuesta en las plantas que recibieron el T3, con 103,45 hoja/tallo. Sin embargo, el número de tallos por planta no presentó diferencias estadísticas ($P > 0,05$), las respuestas más altas fueron en el tratamiento T1, con 47,40 tallo/planta.

Tabla II. Comportamiento agrobotánico de la alfalfa (*Medicago sativa*) en el segundo corte por efecto de la aplicación de diferentes dosis de carbón vegetal.

VARIABLE	NIVELES DE CARBÓN			EE	Prob.
	10 t.ha ⁻¹ T1	20 t.ha ⁻¹ T2	30 t.ha ⁻¹ T3		
Tiempo de prefloración (días)	44,75 a	41,00 b	41,50 b	0.79	0.03
Cobertura basal (%)	39,70 a	37,40 a	39,45 a	0.91	0.22
Cobertura aérea (%)	79,31 b	85,40 ab	86,55 a	1.41	0.02
Altura de la planta (cm)	84,00 b	87,17 b	95,42 a	1.71	0.01
Producción forraje verde (t.ha ⁻¹ corte)	12,06 b	15,61 a	15,92 a	0.59	0.01
Producción materia seca (t.ha ⁻¹ año)	26,12 b	32,40 a	33,70 a	1.19	0.01
Número de tallos/planta	40,00 a	44,75 a	45,00 a	1.65	0.13
Número de hojas/tallo	97,00 b	102,50 ab	111,00 a	2.55	0.02

T: Tratamiento, EE: Error estándar, Prob.: probabilidad.

Tiempo de ocurrencia a la prefloración (días)

Los días de ocurrencia a la prefloración en la alfalfa (*Medicago sativa*) registraron diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0,01$); las

respuestas más altas se observan al aplicar el T1, con 44,75 días. Pérez et al. (7) reportan que los abonos orgánicos actúan aumentando las condiciones nutritivas de la tierra, pero también mejoran

su condición física (estructura) y aportan materia orgánica, bacterias beneficiosas y hormonas.

Porcentaje de cobertura basal y aérea (%)

Las coberturas basales no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) por el efecto de la aplicación de diferentes niveles de carbón vegetal; sin embargo, la mayor cobertura basal se obtuvo con el T1 (39,70%). La cobertura aérea de la alfalfa, en el segundo corte, presentaron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$), determinándose las respuestas más altas con el empleo del T3, con 86,55%. Pnuma (10) manifiesta que la restauración ecológica de una pradera es una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema con respecto a su salud, integridad y sostenibilidad. Robert (8) manifiesta que el carbón vegetal tiene en su estructura elementos nutritivos como nitrógeno, fósforo y potasio, macroelementos básicos indispensables en la producción forrajera; de esta manera se ha demostrado que la incorporación de materia orgánica se refleja en el rendimiento forrajero de la alfalfa.

Altura de la planta (cm.)

La altura de la planta de alfalfa, en el segundo corte, presentó diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$) por efecto de los diferentes niveles de carbón vegetal como restaurador ecológico del suelo; la mayor altura se registró con el T3, con 95,42 cm. Martínez *et al.* (11) informan que los abonos orgánicos actúan progresivamente, a medida que se van mineralizando, y mejoran las características físicas, químicas y biológicas del suelo, lo que se refleja directamente en el desarrollo de la planta.

Producción de forraje verde y materia seca

La cantidad de forraje verde, en el segundo corte, registró diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$), presentándose la mejor producción con el tratamiento T3, con 15,92 t¹FVha⁻¹corte, y la más baja con el T1, con 12,06 tFVha⁻¹corte. La producción de materia seca también reportó diferencias estadísticas ($P < 0.05$), observándose mayor producción en las plantas de las parcelas que recibieron el T3, con 33,70 tMSha-1año, y la menor en las plantas del T1, con 26,12 tMSha-1año;

respuestas que denotan que el empleo de mayores niveles de carbón vegetal tuvo un efecto favorable en cuanto a la producción de materia seca de la alfalfa, lo cual puede deberse, según Alarcón (12), a que la acumulación de forraje es la respuesta del genotipo al medioambiente, a la radiación solar, a través de la fotosíntesis, así como a la temperatura y a la cantidad de lluvia que se puede presentar durante el desarrollo del cultivo.

Número de tallos por planta y hojas por tallo

La variable número de tallos por planta del *Medicago sativa* (alfalfa) determinó diferencias estadísticas ($P < 0,05$); se identificó superioridad de las parcelas correspondientes al tratamiento T3, con 45,00 tallo/planta. En la variable número de hojas por tallo, en el segundo corte de la alfalfa, se registraron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$), siendo las de mayor número las plantas con el T3, con 111 unidades, y las de menor las del T1, con 97.

Pérez *et al.* (7) señalan que la producción de biomasa está en proporción directa con la incorporación de materia orgánica que nutra a los microorganismos del suelo, pues ellos son los responsables de que los nutrientes queden disponibles para las plantas, sin contar que también mejoran las condiciones físicas del suelo, provocándose, por tanto, la restauración ecológica de la pradera.

Análisis inicial y final del suelo

Al realizar el análisis del suelo antes y después de la aplicación de diferentes niveles de carbón vegetal, para la producción del *Medicago sativa* (alfalfa), se puede evidenciar que el contenido de nitrógeno total del suelo fue de 0,09% antes de la aplicación del carbón vegetal, y de 0,11% después de la fertilización. El contenido de fósforo registró un descenso significativo, pues partió de 601,39 mg/kg (antes de la fertilización) y llegó a 592,59 mg/kg (después de la fertilización). El contenido de potasio también reportó un descenso, de 627,19 mg/gantes de la fertilización a 624,20 mg/kg después de ella. Finalmente, el contenido de carbono orgánico total presentó un incremento significativo, al partir de 0,42% y elevarse a 1,05%.

Tabla III. Análisis de restauración del suelo.

Variables	Análisis del suelo antes del ensayo	Análisis del suelo después del ensayo
Nitrógeno (%)	0.09	0.11
Fósforo(mg/kg)	601.39	529.59
Potasio (mg/kg)	627.19	624.2
Humedad (%)	3.07	5.87
pH	4.7	6.3
Densidad aparente	1.2	1.2
Materia orgánica (%)	0.7	1.8
Carbón orgánico	0.42	1.05

Evaluación económica (\$US)

Mediante el análisis económico de la producción anual de forraje verde de la alfalfa (*Medicago sativa*) se determinó que la mayor rentabilidad se alcanza cuando se emplea la fertilización con T1, con un beneficio/costo de 1.63, que indica que por cada dólar invertido se obtiene una ganancia de 63 centavos.

Conclusiones

La utilización de 30 t.ha⁻¹ de carbón vegetal (T3) como restaurador del suelo en la producción la alfalfa alcanzó, en el primer corte, el menor tiempo de ocurrencia a la floración (40, 50 días), la mayor cobertura basal (39,35%) y cobertura aérea (86,70%), así como también la mejor altura (87,98 cm), el mayor número de hojas por tallo (103,45) y, sobre todo, la mayor producción en forraje tanto en materia verde (15,80 tFVha⁻¹ corte), como en seca (33,38 tMSha⁻¹ año).

El comportamiento de la alfalfa en el segundo corte fue similar que en el primero, pues las respuestas más eficientes fueron alcanzadas con la aplicación de 30 t.ha⁻¹ de carbón vegetal, especialmente en lo que tiene que ver con la mejor cobertura basal (86,55%) y aérea (95,42%), así como con la mayor producción en forraje verde (15,92 t.ha⁻¹cor-

te) y en materia seca (33,70 t.ha⁻¹), siendo inclusive mayores que en el primer corte.

Referencias

- (1) Vargas O. 2011. *Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino*. Grupo de Restauración Ecológica. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <http://es.scribd.com/doc/58772431/Guia-Restauracion-Ecologica>.
- (2) Fernández I., Morales N., Olivares L., Salvatierra J., Gómez M., Montenegro M. 2010. *Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales*. Fundación ECOMABI. Chile. Recuperado de http://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1363716217res_baja.pdf.
- (3) Jackson L. 2002. *The role of ecological restoration in conservation biology*. Estados Unidos: Ediciones Fielder and Jain.
- (4) Lehmann J. and Joseph S. 2009. Biochar for Environmental Management: An Introduction en *Biochar for Environmental Management - Science and Technology*. Cornell University, USA. Recuperado de <http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/Lehmann%20>

- and%20Joseph%202009%20Introduction%20to%20Biochar.pdf.
- (5) Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. 2011. *Evaluación de pasturas con animales*. Colombia: autor. Ediciones CIAT.
- (6) Pérez E. y Carril U. 2009. Fotosíntesis: Aspectos Básicos. *Reduca Biología*. Serie Fisiología Vegetal. 2(3):1-47. Recuperado de http://eprints.ucm.es/9233/1/Fisiologia_Vegetal_Aspectos_basicos.pdf.
- (7) Pérez A., Céspedes C., Núñez P. 2008. Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *Revista Ciencia Suelo Nutrición Vegetal*, 8(3) Temuco. Recuperado de: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000300002.
- (8) Robert M. 2002. *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. Informes sobre recursos mundiales de suelos. Francia: Institut National de Recherche Agronomique. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsrr96s.pdf>.
- (9) Imbach A. 2009. *Formulación de un proyecto de conservación de los recursos naturales para la zona de pendientes del proyecto Chinorte, Nicaragua*. Informe de consultoría. San José, Costa Rica: Ediciones UICN.
- (10) Pnuma W. 2001. *Cuidar la tierra: Estrategia para el futuro de la vida*. Suiza: Ediciones Alpes.
- (11) Martínez H., Fuentes P., Acevedo E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista Ciencia Suelo Nutrición Vegetal*, 8(1). Santiago de Chile. Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006.
- (12) Alarcón Z. 2007. *Producción de forraje verde para ganado bovino en invierno. Reporte de resultados primer año*. Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México. México: Ediciones Universidad Autónoma de Chapingo.