

EFECTO DE DIFERENTES NIVELES DE CARBÓN VEGETAL EN LA PRODUCCIÓN DE UNA MEZCLA FORRAJERA DE *Medicago sativa* (ALFALFA) *Lolium perenne* (RYE GRASS) Y *Trifolium repens* (TRÉBOL BLANCO)

EFFECT OF DIFFERENT LEVELS OF CHARCOAL IN THE PRODUCTION OF A FORAGE MIXTURE OF *Medicago sativa* (ALFALFA) *Lolium perenne* (RYE GRASS) AND *Trifolium repens* (CLOVER WHITE)

Marcelo Eduardo Moscoso Gómez, Luis Rafael Fiallos Ortega, Luz Delia Guzmán Chinlle

*Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela de Ingeniería Zootécnica.
Panamericana Sur Km 1½ Riobamba-Chimborazo-Ecuador - mmoscosog@gmail.com*

Resumen: *En la provincia de Chimborazo, Cantón Chambo, Parroquia la Matriz se evaluó el efecto de la aplicación de diferentes niveles de carbón vegetal (1,0; 1,5; 2,0 Tn/ha), más un tratamiento testigo, en la producción forrajera de una mezcla de *Medicago sativa* (Alfalfa), *Lolium perenne* (Rye grass), *Trifolium repens* (Trébol blanco), mediante un Diseño de Bloques Completamente al Azar (D.B.C.A.) en dos cortes consecutivos. Los resultados entre los tratamientos indican que existieron diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0.01$). En el primer corte el mejor tratamiento fue 2 Tn/ha/corte de carbón vegetal obteniendo los siguientes resultados para los días a la prefloración 29,25 días. En el segundo corte para los días a la prefloración la mejor respuesta se alcanzó al utilizar el tratamiento 2 Tn/ha/corte de carbón vegetal con 27 días; para cobertura basal la mejor respuesta se alcanzó al utilizar 1 Tn/ha/corte de carbón vegetal con 57,20%; el mejor tratamiento fue 1,5 Tn/ha/corte de carbón vegetal obteniendo los siguientes resultados para cobertura aérea 84,02 %; producción de forraje verde se obtuvo 24,46 Tn/ha/corte, y producción de materia seca 7,38 Tn/ha/corte. En el análisis financiero el mejor beneficio costo se logró en el primer corte 1,58 al utilizar 1 Tn/ha/corte de carbón vegetal y en el segundo corte 2,37 al utilizar 1,5 Tn/ha/corte de carbón vegetal. Por ello se recomienda utilizar 1,5 Tn/ha/corte de carbón vegetal para las mejores respuestas productivas y económicas alcanzadas*

Palabras Clave: *Carbón vegetal, biochar, pastos y forrajes, mezcla forrajera*

Abstract: *In the Chimborazo province at the Chambo canton in the Matrix parish, was evaluated the effect of applying different levels of charcoal (1,0;1,5; 2,0 Tn/ha/cut), plus a control treatment, in the forage production of a mixture *Medicago sativa* (grass), *Lolium perenne* (rye grass), *Trifolium repens* (white clover) using a block desing completely randomized (random design fully blocks) in two consecutive cuts. The results between treatments indicated that there were highly significant differences ($P < 0.01$). In the first cut was the best treatment 2 Tn/ha/cut charcoal with the following results before flowering 29, 25 days. In the second cut for days before flowering result reached the best response to treatment using 2 Tn/ha/cut charcoal with 27 days; to basal coverage for the best response was achieved 1 Tn/ha/cut charcoal with 57,20%; the best treatment was 1,5 Tn/ha/cut charcoal with the following results for air cover 84,20%; green forage production was obtained 24,56 Tn/ha/cut and dry matter production of 7,38 Tn/ha/cut. In the financial analysis the best cost benefit was achieved in the first cut 1, 58 using 1 Tn/ha/cut charcoal and the second cut 2, 37 Tn/ha /cut using 1, 5 Tn/ha/cut charcoal. Therefore it is recommended to use 1,5 Tn/ha/cut charcoal for best production and economic responses.*

Keywords: *Charcoal, biochar, pasture and forage, forage mixture*

Recibido: 18 enero de 2015

Aceptado: 27 septiembre de 2015

Publicado como artículo científico en Revista de Investigación Talentos II (2) 28-38

I. INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de la Agricultura es necesario lograr la estabilidad en el ciclo biológico “clima – suelo - planta”, obteniendo los máximos beneficios de los recursos, conservando el equilibrio medio ambiental. En este sentido las experiencias mundiales indican que el uso del carbón vegetal, biochar o terra preta (UPI, 2009) tiene la capacidad de mejorar las características físicas del suelo como: textura facilitando un mejor enraizamiento, aireación y absorción de humedad y calor (energía). Su alto grado de porosidad beneficia la actividad macro y microbiológica de la tierra actuando además como bioremediador de suelos (Ossa, M. 2015), al mismo tiempo funciona con el denominado efecto tipo “esponja sólida”, el cual consiste en retener, filtrar y liberar gradualmente nutrientes útiles para las plantas disminuyendo la lixiviación de los suelos (Villamagua, et.al., 2008). Del mismo modo, la estabilidad del carbono permite practicar una agricultura con un elevadísimo potencial para el secuestro de carbono; logrando así captar de mejor manera el CO₂, mitigando el calentamiento global y fijando materia orgánica, con el consecuente enriqueciendo los suelos.

En las unidades de producción zootécnicas de la sierra Ecuatoriana es común el uso de mezclas forrajeras a base de leguminosas (trébol, alfalfa) con gramíneas (rye grass), aprovechando su simbiosis y el aporte nutricional que pueden otorgar a los animales domésticos sea en corte o pastoreo, gracias a la aplicación del biochar podemos indagar el comportamiento vegetativo de estos autótrofos importantes en el proceso productivo animal.

Desde el punto de vista ético productivo y social la aplicación de carbón vegetal coadyuvará a establecer procesos de manejo sustentable en mezclas forrajeras, logrando asegurar agroecológicamente praderas sanas, productivamente viables, con posibilidades de reducción los costos de producción y manejo responsablemente los recursos naturales (altruismo ecológico), todo esto logrado gracias a la incorporación de carbón vegetal molido en las praderas de pastos. Por

lo expuesto anteriormente se plantearon los siguientes objetivos:

- Evaluar el efecto de diferentes niveles de carbón vegetal en la producción de una mezcla forrajera de *Medicago sativa* (Alfalfa), *Lolium perenne* (Rye grass) y *Trifolium repens* (trébol blanco).
- Determinar el nivel óptimo de carbón vegetal (1,0; 1,5 y 2,0 Tn/ha) sobre el rendimiento productivo de la mezcla forrajera.
- Estudiar la incidencia de la aplicación del carbón vegetal sobre las condiciones químicas del suelo.
- Conocer los costos de producción de cada tratamiento a través del indicador beneficio / costo.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Cantón Chambo, Barrio Asactus, sector San Pedro de Lluclud, localizada en el kilómetro 10 de la vía Chambo - Quimiag, provincia de Chimborazo con una duración de 120 días, los cuales fueron distribuidos conforme a las necesidades de tiempo para cada actividad a partir del corte de igualación, toma de datos y una réplica. La investigación estuvo constituida por 16 unidades experimentales (parcelas), cuyas dimensiones fueron de 20 m² (5mx4m en parcela neta útil), incluido el control, cada tratamiento contó con 4 repeticiones, dando una superficie total de 320 m². Se planteó la utilización de tres niveles de carbón vegetal (1,0; 1,5; 2,0 Tn/ha), frente a un tratamiento testigo sin carbón, aplicados después del corte de igualación de una mezcla forrajera de *Medicago sativa* (Alfalfa), *Lolium perenne* (Rye grass), *Trifolium repens* (Trébol blanco). La distribución de los tratamientos se basó en un experimento anidado en Diseño de Bloques Completamente al Azar (D.B.C.A). Para el estudio se utilizó el Análisis de la varianza (ADEVA); Separación de medias $P < 0.05$ y $P < 0.01$ mediante Tukey; Análisis de regresión y correlación.

La investigación propuesta se desarrolló en una pradera artificial de 1 año y medio de edad; compuesta por rye grass perenne, alfalfa, y trébol blanco. De acuerdo al diseño y sorteando se delimitaron e identificaron las unidades experimentales. Cada unidad experimental conto con un área de 20 m², utilizando 16 parcelas, sumando un área total de 320 m². Se inció con un corte de igualación a una altura de 5 cm del pasto, se efectuó el análisis químico del suelo antes y después de la aplicación de los diferentes tratamientos. Se aplicaron los tres niveles de carbón vegetal (1,0; 1,5 y 2,0 Tn/ha), según cada tratamiento. El tratamiento testigo no recibió el carbón vegetal. La evaluación de la cobertura basal y cobertura aérea hasta la prefloración se realizó cada 15, 30 y 45 días, incluida en la réplica, basándose en lo que exponen la literatura científica encontrada. Se realizaron labores culturales como deshierba procurando que desaparezcan todas las malezas que no pertenecieron a la mezcla forrajera, el riego se efectuó de acuerdo a las condiciones ambientales.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Características agrobotánicas, en el primer corte.

En el estudio de la variable altura de la planta a los 15 días de una mezcla forrajera de rye grass, trébol y alfalfa, en el primer corte al fertilizar el suelo con

diferentes niveles de carbón vegetal, en las parcelas experimentales se determinó diferencias estadísticas significativas ($P < 0.0278$), registrándose por lo tanto la mayor altura para las parcelas que se aplicó 1,5 Tn/ha, con 19,25 cm, y que desciende a 16,46 cm, en el tratamiento control; mientras tanto que las respuestas menos eficientes fueron registradas en las parcelas del tratamiento de 1 y 2 Tn/ha de carbón vegetal con 15,71 y 15,75 cm. Por lo tanto se deriva que en niveles extremos de carbón vegetal, disminuye la altura de la mezcla forrajera, esto demuestra que se debe utilizar en dosis medias de 1,5 Tn/ha ya que existe saturación de nutrientes según Valarezo, C. (2009), la incorporación de carbón al suelo aumenta su capacidad de fijación e intercambio de nutrientes impidiendo de esta manera su lixiviación, fenómeno característico de los suelos expuestos a grandes cantidades de precipitación. Mediante la regresión para la estimación de la variable altura de la planta de la mezcla forrajera, se determinó una tendencia cuadrática significativa, ($P < 0.01$); que demuestra que a medida que se incrementa el nivel de carbón vegetal, la altura de la planta tiende a ascender cuando se aplica 1 Tn/ha en 1,9788 cm para luego empezar a decrecer en 0,8939% al aplicar 2 Tn/ha de carbón vegetal por cada unidad de cambio en la variable dependiente, con un coeficiente de determinación de 4,08% que depende del nivel de carbón vegetal y una correlación de $r = 0,2020$ que infiere una asociación baja.

TABLA I
COMPORTAMIENTO AGROBOTÁNICO DE LA MEZCLA FORRAJERA (Medicago sativa, Lolium perenne, Trifolium repens) COMO EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES NIVELES (0, 1,0; 1,5 Y 2 Tn/ha) DE CARBÓN VEGETAL PRIMER CORTE

Variables	Niveles de Carbón Vegetal Tn/ha				E. E.	Prob.				
	0,0	1,0	1,5	2,0						
cm	16,46	ab	15,71	b	19,25	a	15,79	b	0,75	0,0278
Altura de la planta 30 días cm	28,08	a	30,67	a	29,67	a	28,50	a	1,69	0,7059
Altura de la planta 45 días (cm)	50,96	a	52,33	a	55,13	a	55,83	a	2,23	0,4140
Días a la prefloración	36,00	a	33,50	ab	31,00	bc	29,25	c	0,67	0,0003
Cobertura basal %	29,57	a	21,65	a	25,98	a	37,76	a	4,09	0,1019
Cobertura Aérea %	59,72	a	62,83	a	69,09	a	64,92	a	9,39	0,9103
Producción de forraje verde Tn/ha	13,91	a	16,56	a	15,51	a	13,90	a	0,87	0,1534
Producción de materia seca Tn/ha	2,17	a	2,63	a	2,66	a	2,58	a	0,14	0,1153

El análisis de varianza del tiempo de ocurrencia a la prefloración, de la mezcla forrajera, registró diferencias altamente significativas ($P < 0.01$); se presenta en la Tabla I, al comparar los promedios de tiempo a la prefloración, en respuesta a la aplicación de diferentes niveles de carbón vegetal, se reportó según la separación de medias los valores más altos con 36,00 días, en las parcelas del grupo control (T0); y que superó a los promedios, del tratamiento T1, y T2, con de 33,50 días y 31,00 días, respectivamente. Mientras tanto que la prefloración más temprana fue registrada en las parcelas del tratamiento T3, cuyas medias fueron de 29,25 días; este comportamiento puede deberse a las bondades que presenta el biochar como lo manifiestan Torres, G. et al. (2014), produciendo eficiencia en la dinámica edáfica, en la formación del coloide, la expansión radicular, el intercambio gaseoso y un buen desarrollo poblacional de la micro flora telúrica. El carbón no agrega mucho nutriente al suelo como lo hace la mayoría de los fertilizantes, sin embargo mejora considerablemente su textura. Se evidencia una tendencia a reducción en la presencia de la floración a medida que se aumenta la dosificación de biochar (Fig. 1).

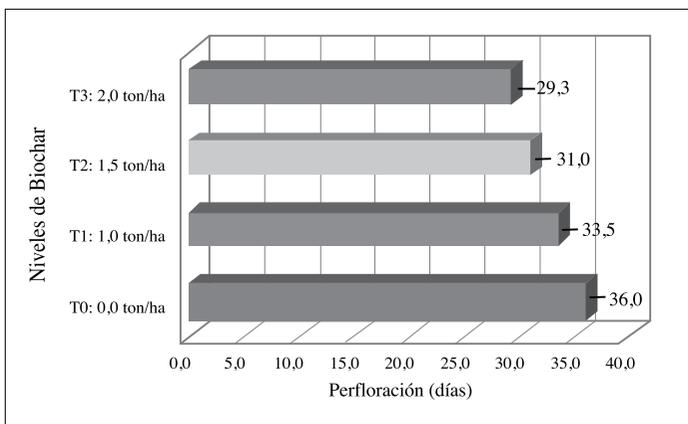


Fig. 1. Comportamiento de la prefloración en praderas tratadas con diferentes niveles de Carbón vegetal, primer corte.

Sepa (2012), registró los mejores resultados de aparición de tiempo a la prefloración al abonar con 1500 cc/ha de Green fast (bioestimulante de base orgánica), con medias de 46,25 días en una mezcla forrajera, así como también Hidalgo (2011), registró el menor tiempo de ocurrencia desde el corte de igua-

lación hasta la prefloración al aplicar 6 Tn/ha, de vermicompost (humus de lombriz) con 41,67 días a la prefloración, datos superiores a los obtenidos en esta investigación esto posiblemente se deba a que el carbón vegetal capta mayor cantidad de nutrientes de fácil asimilación que influye en la prefloración, haciendo que esta sea más temprana. Por su parte Rodríguez, A. et al. (2015), en su investigación indican que la presencia de carbón vegetal aumenta significativamente el pH y las concentraciones de C y N en el suelo, y reducen las concentraciones de metales extraíbles con CaCl_2 ; es decir favorece a la capacidad de retención de nutrientes, presencia de organismos benéficos y micorrizas consideradas intermediarias para mejorar el crecimiento de la planta.

Analizando la regresión para la variable tiempo de prefloración de la mezcla forrajera se determinó una tendencia lineal negativa significativa, ($P < 0,01$), que demuestra que a medida que se incrementa el nivel de carbón vegetal, el tiempo de prefloración tiende a decrecer en 3,4143 días por cada unidad de cambio en la variable dependiente, con un coeficiente de determinación de 83,65% que depende del nivel de carbón vegetal y una correlación de $r=0,9146$ que infiere una asociación baja.

B. Características agrobotánicas en el segundo corte.

En relación a la altura de la planta a los 38 días, de la mezcla forrajera en el segundo corte, se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0,01$), por efecto de los diferentes niveles de carbón vegetal, presentándose en la parcelas con 1,50 Tn/ha la mayor altura, con 46,46 cm, seguido por el tratamiento con 2 Tn/ha, con 45,00 cm, mientras que las alturas más bajas fueron la reportadas en las parcelas con la utilización de 1 Tn/ha de carbón vegetal y las parcelas control, con 41,88 y 34,46, es decir que los mayores niveles de enmiendas como el carbón vegetal ayudan a obtener mayores alturas en una mezcla forrajera. Por lo tanto se deriva que mayores niveles de carbón vegetal, elevan la altura de la planta de la mezcla forrajera, lo que puede deberse según De La

Rosa, J. (2012), menciona que para el cambio a una agricultura más sostenible la aplicación de subproductos de la bioenergética como el biochar en enmienda o fertilizante influye, en la dinámica del C y N secuestra el carbono con beneficios tales como el enriquecimiento de los suelos mejorando los procesos fisiológicos y metabólicos de los cultivos, en lugar de su desestabilización, algo que ocurre con otras técnicas más costosas de captura y secuestro de carbono. Molina (2010), registró las mayores alturas en prefloración en el segundo corte, en la alfalfa con la aplicación de vericompost (T2), alcanzando medias de 30,042 cm, y en el pasto azul al utilizar humus con medias de 24,29 cm, mientras que Quinzo (2014), reporta las mayores alturas de la mezcla forrajera conformada por trébol, rye grass y pasto azul registrando medias de 31,00 cm al someterse a la aplicación de 400 l/ha purín + 20 g. giberelinas, Hidalgo (2011) reporta al aplicar 8 Tn/ha de vericompost que alcanzó alturas en el rye grass de 36,85 cm, en el pasto azul

permitió alcanzar 23,80 cm y en el trébol blanco 25,30 cm en el segundo corte, con un promedio de la mezcla de 28,65 cm., datos similares a los registrados en la investigación obteniendo una media de 31,63 cm. Esto puede presentarse debido a que como menciona Verheijen et al. (2009), los abonos orgánicos mejoran sustancialmente la fertilidad de los suelos, los vegetales responden óptimamente a la absorción de los nutrientes que necesitan para su crecimiento, desarrollo y producción. Mediante el análisis de regresión, mostrado en la Tabla II, para la estimación de la altura a los 38 días de la mezcla de forraje, bajo la influencia de diferentes niveles de carbón vegetal, responde a regresión lineal positiva altamente significativa ($P < 0.01$), esto quiere decir; que la altura se eleva en 5,85 cm, por cada unidad de cambio en el nivel de fertilizante orgánico carbón vegetal aplicado a la parcela de mezcla forrajera, existe además una correlación positiva alta de (r) 0,7969 y un coeficiente de determinación de $R^2 = 63,51\%$.

TABLA II

COMPORTAMIENTO AGRO BOTÁNICO DE LA MEZCLA FORRAJERA (*Medicago sativa*, *Lolium perenne*, *Trifolium repens*) COMO EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES NIVELES (0; 1,0; 1,5 Y 2 Tn/ha) DE CARBÓN VEGETAL SEGUNDO CORTE.

Variables	Niveles de Carbón Vegetal Tn/ha				E. E.	Prob.
	0,00	1,00	1,50	2,00		
Altura de la planta a los 15 días cm	14,4 2 c	15,8 b 8 c	19,4 6 a	18,3 3 ab	1,04	0,0280
Altura de la planta a los 30 días cm	24,2 1 b	26,0 8 a	31,6 3 a	30,7 5 a	1,20	0,0046
Altura de la planta a los 38 días cm	34,4 6 c	41,8 b 8 c	46,4 6 a	45,0 0 ab	1,41	0,0009
Días a la prefloración	32,7 5 a	31,5 0 a	31,2 5 a	27,0 0 b	0,38	0,0001
Cobertura basal %	35,5 9 c	57,2 0 a	52,4 8 ab	43,1 5 bc	2,42	0,0006
Cobertura Aérea %	63,4 6 b	66,1 a 8 b	84,0 2 a	77,5 6 ab	4,62	0,0373
Producción de forraje verde Tn/ha	10,1 8 c	15,0 b 2 c	24,4 6 a	19,7 4 ab	1,50	0,0005
Producción de materia seca Tn/ha	2,61 c	3,73 c b	7,38 a	5,61 ab	0,43	0,0001

Separación de medias según Tukey ($P < 0.05$).

Los días de ocurrencia a la prefloración, en la mezcla de alfalfa, rye grass y trébol, al utilizar diferentes dosis de carbón vegetal registraron diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0,01$), observándose por lo tanto las respuestas más altas en el tratamiento testigo días (T0); con 32,75 días y que desciende a 31,50 días, al utilizar el carbón vegetal en 1 Tn/ha, (T1); registrando una media de 31,25 días al adicionar 1,5 Tn/ha (T2), mientras tanto que las respuestas más bajas fueron registradas con la aplicación de 2 Tn/ha, de carbón vegetal (fig. 2), (T3), con 27,00 días. Los días de ocurrencia a la prefloración son menores en relación al primer corte esto se debe a lo indica Colque, J. (2005), quien encontró 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, combinándolo con el agua, y la luz proveniente del sol, para transformarlo en materia orgánica como son la celulosa, azúcares y almidones. Valores que son inferiores a los de Cortez (2014), quien registra en el *Medicago sativa*, del segundo corte, con la aplicación de 30 Tn/ha de carbón vegetal como restaurador del suelo, medias de 41,50 días, Quinzo (2014), reporta una media de 55,58 a la prefloración al someter a la mezcla forrajera de pasto azul, rye grass, trébol blanco al efecto de purín bovino + giberelinas aplicadas a los 7 días. Respuestas que son superiores debiéndose a que el carbón vegetal en el suelo permitió absorción del material vegetal muerto y cumpliendo las funciones de materia orgánica de manera permanente para elevar los nutrientes del suelo y disminuir el tiempo de ocurrencia a la prefloración. En el análisis de la regresión se indica una tendencia lineal altamente significativa ($P < 0,01$), esto quiere decir; que el tiempo de ocurrencia a la prefloración disminuye en 2,4857 días, por cada unidad de cambio en el nivel de fertilizante orgánico carbón vegetal aplicado a la parcela de mezcla forrajera, existe además una correlación positiva media de (r) 0,7593 y un coeficiente de determinación de $R^2 = 57,87\%$

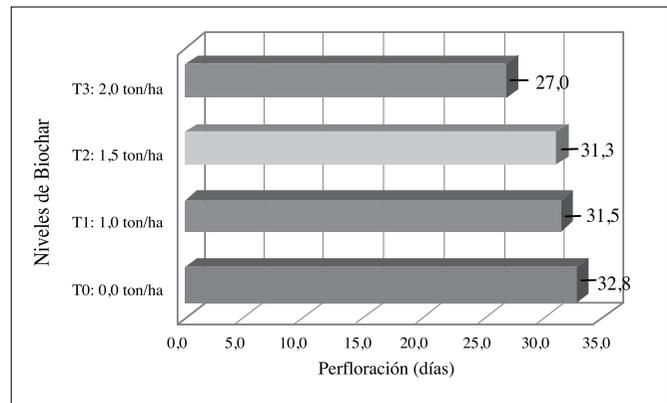


Fig. 2. Comportamiento de la prefloración en praderas tratadas con diferentes niveles de Carbón vegetal, segundo corte.

En cuanto se refiere a la cobertura basal de la mezcla forrajera se registran diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0,01$), determinándose como mejores respuestas a los tratamientos de 1 y 1,5 Tn/ha de carbón vegetal con 57,20 y 52,48, diferenciándose estadísticamente entre ellos, en tanto que las menores respuestas las presentó el tratamiento de 2 Tn/ha de carbón vegetal y el tratamiento testigo con 43,15 y 35,59 % este comportamiento ha sido ratificado por Ali, M. (2013). El carbón vegetal es una de las enmiendas que cumple funciones similares a las de la materia orgánica pero debe administrarse en cantidades pequeñas porque su descomposición es lenta. Las respuestas antes descritos son inferiores a los reportes de Sepa (2012), quien señala como mejor respuesta de cobertura basal a los 30 días, a la aplicación de 1500 cc/greenfast con 91,65%, así como también Quinzo (2014), con la utilización 600 l/ha, de purín más giberelinas, con medias de 73,47%, valores superiores a los obtenidos en la presente investigación; siendo las giberelinas fitoreguladores que influyen en determinados procesos vegetativos como la floración, Taiz y Zeiger (2002). El análisis de varianza de esta variable, presentó diferencias altamente significativas ($P < 0,01$), que indica que a medida que se incrementa el nivel de carbón vegetal de 0 Tn/ha hasta 1 Tn/ha la cobertura basal se incrementa en 37,568 cm, para posteriormente decrecer en 17,051 cm, por cada unidad de cambio en la variable independiente,

con un coeficiente de determinación (R^2) de 71,19% y una correlación positiva alta (r) de 0,8472.

Al evaluar la producción de forraje verde t/ha/corte, se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0,01$), por efecto de la utilización de los niveles de carbón vegetal, siendo el mejor tratamiento el de 1,5 Tn/ha, con 24,46 Tn/ha/corte, y el menor dato fue el obtenido en el tratamiento control con 10,18 Tn/ha/corte, mientras tanto que valores intermedios que comparten significancia fueron reportados en las parcelas del tratamiento T3 y T1, con de 19,74 y 15,02 Tn/ha/corte. Es decir que la mejor producción de forraje verde se obtienen aplicando 1,5 Tn/ha, de carbón vegetal. Lo que es corroborado con las apreciaciones de Arias, M (2013), Los abonos orgánicos son sustancias beneficiosas para el suelo y para la planta, agregan partículas y aumenta la porosidad del suelo, lo airea mejorando su textura, reteniendo el agua y nutrientes minerales suficientes para desarrollarse de forma normal. Al comparar con otros autores como Hidalgo (2010), con la utilización de 8 Tn/ha, de vermicompost registró 22,40 Tn/ha de forraje verde, siendo esta producción similar a la obtenida en la presente investigación debido a que el vermicompost dispone de sales minerales necesarias en la nutrición vegetal que influyen en la producción forrajera, Sepa (2012), reporta la mayor producción de forraje verde en una mezcla forrajera con la utilización de 1250 cc/green fast con 21,94 Tn/ha/corte. En el análisis de la regresión, se determinó una tendencia lineal altamente significativa ($P < 0,01$), donde se infiere que partiendo de un intercepto de 10,605 la producción de forraje verde incrementa en 5,9954 Tn/ha/corte por cada unidad de cambio en el nivel de carbón vegetal, también se observa una determinación (R^2), del 58,29 %, por parte de los niveles de carbón vegetal utilizados, además el coeficiente correlación (r), que fue de 0,656; deduce una relación positiva media, de la producción de forraje verde en función de los niveles de carbón vegetal. En la fig. 3, se evidencia un comportamiento proporcional de incremento de la producción de forraje en función a la dosificación de biochar desde el tratamiento testigo hasta 1.5 ton/ha de carbón; aunque a partir de esta dosis la tendencia disminuye notablemente.

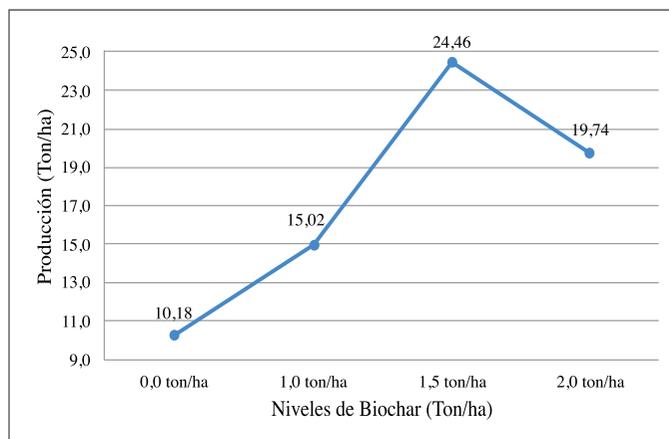


Fig. 3. Comportamiento de la Producción de forraje verde en praderas tratadas con diferentes niveles de Carbón vegetal, segundo corte.

El análisis de varianza de la producción en materia seca lograda en el segundo corte de la mezcla forrajera reporta diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0,01$), entre los tratamientos, donde el mayor valor fue reportado en las parcelas fertilizadas con carbón vegetal 1,5 Tn/ha, con medias de 7,38 Tn/ha/corte; y que desciende a 5,61 Tn/ha/corte, al utilizar 2 Tn/ha, de carbón vegetal, así como también se reduce a 3,73 Tn/ha/corte en las parcelas fertilizadas con 1 Tn/ha, de carbón vegetal, en tanto que las repuestas más bajas fueron alcanzadas por las parcelas del tratamiento control con medias de 2,61 Tn/ha/corte. Sustentado por Fuster y Rodríguez (2001), demuestran que la incorporación de materia orgánica influye positivamente en la producción forrajera y por ende en la producción de materia seca. Hidalgo (2011), al evaluar la producción de materia seca de la mezcla forrajera establecida con rye grass, pasto azul y trébol blanco bajo la influencia de la utilización de los diferentes niveles de vermicompost registro 6,47 Tn/ha/corte, de materia seca en el segundo corte y Sepa (2012), reporta los mejores resultados al aplicar el tratamiento 1250 cc/green fast con 4,13 Tn/ha/corte, estando estos resultados entre los obtenidos en la presente investigación quizá se deba a que la característica de los abonos orgánico y hormonas ayudan a mejorar la textura y elevan el número microorganismos que estimulan el crecimiento de las plantas y por ende una mejor producción en materia seca. En el análisis de la regresión determinó

una tendencia lineal positiva con diferencias altamente significativa ($P < 0,01$), donde se infiere que partiendo de un intercepto de 2,6357 la producción de forraje verde incrementa desde la aplicación 1 Tn/ha hasta de 1,5 Tn/ha en 1,9532 t/ha/corte por cada unidad de cambio en el nivel de carbón vegetal, también se observa una determinación (R^2), del 55,60 %, por parte de los niveles de carbón vegetal utilizados, además el coeficiente correlación (r), que fue de 0,7602; deduce una relación positiva media, de la producción de forraje verde en función de los niveles de carbón vegetal.

C. Análisis Químico

Se observa en la Tabla III y gráfico 4, el comportamiento químico en el suelo de las parcelas que fueron tratadas con carbón vegetal; en el caso del pH se mantuvo neutro (desde 6.5 a 6,8); en referencia al nitrógeno y fósforo, existió un ligero ascenso en sus

componentes, a medida que se incrementaron los niveles de biochar (desde 4,7 ppm al inicio hasta 5,5 ppm en parcelas tratadas con 2,0 ton/ha de biochar en el caso del nitrógeno; mientras que el fósforo se incrementó de 66 ppm a 81 ppm en unidades fertilizadas con 2,0 Ton/ha de biochar), como se aprecia en la Fig. 4; en cambio prácticamente el potasio se mantuvo, aunque fueron suelos con un alto contenido del mismo; el contenido de materia orgánica igualmente fue incrementándose a medida que la aplicación de carbón vegetal subió, puesto que se observó al inicio 3.2% de materia orgánica en cambio al término de la investigación el nivel 2.0 ton/ha de biochar resultó con un contenido de 4,5%; evidentemente se comprueba la manifestación de Ali e. al. (2013) y Rodríguez et al. (2015); quienes mencionan que el biochar se utiliza como un gran optimizador de la química y física de los suelos empobrecidos.

TABLA III
DINÁMICA QUÍMICA DE LA MEZCLA FORRAJERA (Medicago sativa, Lolium perenne, Trifolium repens) POR EL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES NIVELES (0; 1,0; 1,5 Y 2 Tn/ha) DE CARBÓN VEGETAL SEGUNDO CORTE

Detalle	Unidad	Valor con Biochar (Ton/ha)				
		Valor Inicio	0,0 Ton/ha	1,0 Ton/ha	1,5 Ton/ha	2,0 Ton/ha
Ph		6,5	5,4	6,51	6,6	6,8
Materia Orgánica	%	3,2	3,1	3,3	4,1	4,5
Nitrógeno	NH4 (ppm)	4,7	4,4	4,8	5,2	5,5
Fósforo	ppm	66	62	72	77	81
Potasio	ppm	643	639	639	640	638
Calcio	CaO (Meq/100g)	12,5	10,5	12	12,1	14
Magnesio	MgO (Meq/100g)	1,2	1	1,2	1,4	1,3
Humedad	%	21,8	23	24,2	29,3	27,5

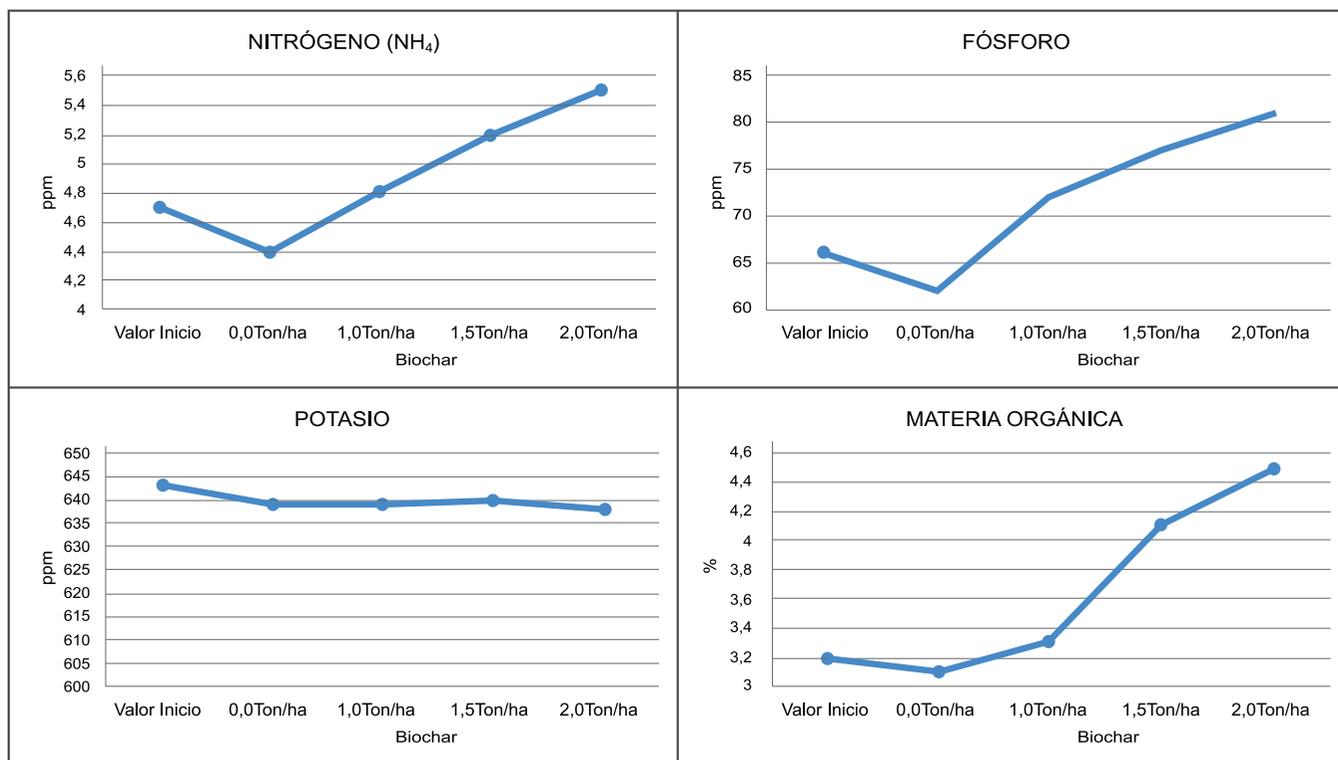


Fig. 4. Comportamiento del nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica en suelos fertilizados con biochar.

D. Análisis económico

Una vez realizado el análisis económico se determinó que la producción de forraje verde en el primero corte de la mezcla forrajera de rye grass, alfalfa y trébol blanco, por efecto de diferentes niveles de carbón vegetal aplicados en las parcelas experimentales, se alcanzó la mayor rentabilidad cuando se empleó la fertilización con 1 Tn/ha, de carbón vegetal, por cuanto se encontró un beneficio/costo de 1,58 es decir el 58 % de rentabilidad, mientras que el análisis económico de la producción de forraje verde en el segundo corte de la mezcla forrajera, sometido a de diferentes niveles de carbón vegetal, se determina la mejor rentabilidad fertilización con 1,5 Tn/ha, de carbón vegetal, obteniendo un beneficio/costo de 2,37 es decir que por cada dólar invertido tiene una ganancia de 1,37 dólares.

IV. CONCLUSIONES

A medida que se incrementaron los niveles de biochar en praderas establecidas con una mezcla de alfalfa, trébol blanco y rye grass, la producción fue mejo-

rando proporcionalmente desde 13.91 ton/ha (testigo) hasta 15.51 ton/ha de forraje verde (1,5 ton/ha de biochar) en el primer corte; y, desde 10.18 ton/ha (testigo) a 24.46 ton/ha (1,5 ton/ha de biochar) para el segundo corte; esto indica que el biochar funciona hasta 1,5 ton/ha; aunque la mejor prefloración en los dos cortes presentó una mejor respuesta en la última dosificación (2 ton/ha) de carbón vegetal (19 y 27 días correspondientemente para primera y segunda floración).

El nivel óptimo de carbón vegetal para la fertilización este tipo de mezcla forrajera está entre 1,5 y 2,0 ton/ha., según los resultados estadísticos encontrados.

La dinámica química del suelo se vio ligeramente afectada por la presencia de carbón vegetal, a medida que se incrementaron los niveles de biochar, consecuentemente el nitrógeno, fosforo e inclusive la materia orgánica presentaron valores en ascenso.

El indicador económico Beneficio/Costo presentó la mejor rentabilidad en parcelas fertilizadas con

1 ton/ha de biochar (1.58; por cada dólar de inversión existió 0.58 dólares de rentabilidad) en el primer corte; mientras que en segundo corte las ganancias fueron mejores en unidades experimentales que recibieron 1.5 ton/ha de carbón vegetal puesto que el beneficio fue de 2.37; es decir la rentabilidad de 1.37 dólares por cada unidad monetaria invertida.

V. REFERENCIAS

- Ali, M. (2013): *Efecto del biochar y la inoculación con micorriza y trichoderma en el mejoramiento de la calidad del suelo y el crecimiento de pasto King grass (Pennisetum purpureum)*. Tesis de Grado. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Carrera de Ingeniería en Ambiente y Desarrollo. Tegucigalpa, Honduras.
- Arias, M. (2013): Los abonos usados en agricultura ecológica. Artículo de Infojardin. Tomado de <http://www.infojardin.com>
- Colque, J. (2005): El ciclo del carbono. Artículo de Educación Ambiental en Eco Portal. Tomado de <http://www.ecoportal.net>.
- Cortez, M. (2014): *Restauración ecológica del suelo mediante la aplicación de diferentes niveles de carbón vegetal y su efecto en la producción forrajera de alfalfa (Medicago sativa)*. Tesis de Grado. Escuela de Ingeniería Zootécnica, Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. pp 34 – 95.
- De La Roja, J.M. (2012): “Efectos rápidos de la enmienda de suelos con biochar en la dinámica del C y N, la disponibilidad de nutrientes y fertilidad en condiciones controladas”. *Revista FLAMMA* 3. Sevilla, España. 21-22.
- Fuster, E. y T. Rodríguez. (2001): *Botánica*. Editorial Kapelusz. Primera edición, Buenos Aires, Argentina. 70 -75.
- Hidalgo, P. (2010): *Evaluación del comportamiento productivo de una mezcla forrajera de Ray grass (Lolium perenne), pasto azul (Dactylis glomerata) y trébol blanco (Trifolium repens) mediante la utilización de diferentes niveles de vermicompost*. Tesis de Grado. Escuela de Ingeniería Zootécnica, Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- 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. Edit. UICN. San José, Costa Rica. pp 127 - 132.
- Molina, C. (2010): *Evaluación de diferentes abonos orgánicos en la producción de forraje de una mezcla forrajera de Medicago sativa (Alfalfa) Y Dactylis glomerata (Pasto azul), en el cantón mocha parroquia la matriz*. Tesis de Grado. Escuela de Ingeniería Zootécnica, Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. pp 35-90.
- Ossa, M. (2015): *Propiedades y contaminación del suelo. Alternativa de biorremediación*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Bogotá, Colombia.
- Quinzo, A. (2014): *Evaluación de diferentes niveles de purín bovino 200, 400 y 600 l/ha, más giberelinas en dosis de 10, 20, 30 g, respectivamente en la producción primaria forrajera de la mezcla de Lolium perenne (Rye grass perenne), Dactylis glomerata (pasto azul), y Trifolium repens (Trébol blanco), en el sector de Urbina*. Tesis de Grado. EIZ.FCP-ESPOCH. Riobamba, Ecuador. pp 43- 102.
- Rodríguez, A., V. Asensio. R. Forján, y E. Covelo. (2015): “Recuperación de un suelo de mina de cobre con enmiendas orgánicas: compost y biochar versus tecnosol y biochar”. *Spanish Journal of Soil Science. ISSUE 3. CSIC-SECS-UNIVERSIA*. 130-143.
- Sepa, B. (2012): *Rehabilitación de la pradera artificial con diferentes niveles de bioestimulante de base orgánica (Green Fast)*. Tesis de Grado. Escuela de Ingeniería Zootécnica, Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador. pp. 56 – 67.
- Taiz, L. y E. Zeiger. (2002): *Fisiología Vegetal*. Universitat Jaume. Tercera edición. Vol. II. Traducido por Plant physiology. Sunderland, U.S.A.
- Torres, G., O. Ortiz, J. Ubalde, X. Sort y J. Alcañiz (2014): “El biocarbón (biochar): una forma de secuestrar carbono y de transferir menos contaminantes al subsuelo y acuíferos”. Jornadas ambientales sobre contaminación del agua y suelo. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, España.
- UPI (2009): *Proyecto Desarrollo conjunto de un método de mejoramiento de las propiedades fisicoquí-*

micas de suelo y una estrategia sustentable de secuestro de CO₂ atmosférico por medio del concepto de Terra Preta Biochar. Universidad de Tarapaca. Chile.

Valarezo, C. (2009): *Gestión de la fertilidad del suelo con enmiendas de carbón vegetal en plantaciones de árboles maderables y sistemas agroforestales de café y cacao en el sur de la Amazonía Ecuatoriana.* Universidad Nacional de Loja. Centro de estudios y desarrollo de la Amazonía (CEDAMAZ). Loja, Ecuador.

Verheijen, F.G.A., S. Jeffery, A.C. Bastos, M. Van der Velde and I. Diafas. (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, 149pp.

Villamagua, M., E. Loaiza y P. Naula. (2008): “Efecto del carbón vegetal en las propiedades físico – químicas del suelo en cultivo de tomate de mesa *Solanum lycopersicum* L. bajo invernadero”. *Revista científica estudios universitarios.* Vol. 8. 85 – 100.