



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS**

**ESCUELA DE INGENIERIA ZOOTÉCNICA**

**“RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL SUELO APLICANDO CARBÓN VEGETAL Y SU EFECTO EN LA PRODUCCIÓN DE *Medicago sativa*.”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del título de**

**INGENIERO ZOOTECNISTA**

**AUTOR**

**MAGALY DEL ROCÍO CORTEZ FERNÁNDEZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2013**

Esta tesis fue aprobada por el siguiente tribunal

---

Ing. M.C. Luis Eduardo Hidalgo Almeida.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

Ing. M.C. Luis Rafael Fiallos Ortega. Ph.D.  
**DIRECTOR DE TESIS**

---

Ing. M. C. Jose Vicente Trujillo Villacis.  
**ASESOR DE TESIS**

Riobamba, 16 de Diciembre del 2014.

## CONTENIDO

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Lista de Cuadros	vii
Lista de Gráficos	viii
Lista de Anexos	ix
I. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
II. <u>REVISIÓN DE LITERATURA</u>	3
A. DEGRADACIÓN Y NECESIDAD DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA	3
1. <u>Restauración ecológica</u>	4
B. MECANISMOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA	7
1. <u>Sucesiones secundarias</u>	7
C. CARBÓN VEGETAL	8
1. <u>La respiración de la flora</u>	9
2. <u>Menos CO<sub>2</sub> en la atmósfera y menor impacto agrario</u>	9
3. <u>La avanzada tecnología de las civilizaciones precolombinas</u>	11
D. ALFALFA	14
1. <u>Descripción botánica</u>	15
a. La raíz	15
b. El tallo y las hojas	15
c. La inflorescencia y el fruto	16
2. <u>Clasificación taxonómica</u>	16
3. <u>Ecología y adaptación</u>	16
a. Radiación solar	16
b. Temperatura	17
c. Humedad	17
d. pH	18
e. Salinidad y alcalinidad	18
f. Profundidad del suelo y factores bióticos	19
4. <u>Formas de uso</u>	19
a. En verde	19
b. Henificado	19
c. Ensilado y deshidratado	20

d.	Pastoreo	20
5.	<u>Valor nutritivo</u>	20
6.	<u>El cultivo</u>	22
a.	Preparación del terreno	22
b.	Siembra	22
c.	Época de siembra	22
d.	Dosis y profundidad de siembra	23
e.	Abonado	23
f.	Nitrógeno, fósforo y potasio	23
7.	<u>Riego</u>	24
III.	<u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	25
A.	LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN DELA INVESTIGACIÓN	25
1.	<u>Condiciones Meteorológicas del lugar</u>	25
B.	UNIDADES EXPERIMENTALES	26
C.	MATERIALES, HERRAMIENTAS, EQUIPOS E INSUMO	26
1.	<u>Materiales y herramientas</u>	26
2.	<u>Equipos</u>	26
3	<u>Insumo</u>	27
D.	TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	27
1.	<u>Esquema del experimento</u>	27
E.	MEDICIONES EXPERIMENTALES	28
F.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRUEBAS DE SIGNIFICANCIA	29
1.	<u>Esquema del ADEVA</u>	29
G.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	29
1.	<u>Descripción del experimento</u>	29
H.	METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN	30
1.	Tiempo a la prefloración	30
2.	Cobertura basal (%)	30
3.	Cobertura aérea (%)	30
4.	Altura de la planta	31
5.	Producción de forraje en materia verde y seca. (Tn /ha)	31
6.	Número de tallos por planta, (tallos/planta)	31
7.	Número de hojas por tallo	31

8.	Análisis del suelo inicial y final	32
9.	Humedad del suelo	32
10.	<u>Densidad aparente del suelo</u>	32
11.	<u>Evaluación económica</u>	33
IV.	<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	34
A.	COMPORTAMIENTO AGROBOTÁNICO DE LA ALFALFA ( <i>Medicago sativa</i> ), EN EL PRIMER CORTE BAJO EL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES DOSIS DE CARBÓN VEGETAL, COMO RESTAURADOR ECOLÓGICO DEL SUELO	34
1.	<u>Tiempo a la prefloración</u>	34
2.	<u>Porcentaje de cobertura basal</u>	39
3.	<u>Porcentaje de cobertura aérea</u>	41
4.	<u>Altura de la planta</u>	45
5.	<u>Producción de forraje verde</u>	47
6.	<u>Producción de materia seca</u>	52
7.	<u>Número de hojas por tallo</u>	54
8.	<u>Número de tallos por planta</u>	59
B.	COMPORTAMIENTO AGROBOTÁNICO DE LA ALFALFA ( <i>Medicago sativa</i> ), EN EL SEGUNDO CORTE BAJO EL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES DOSIS DE CARBÓN VEGETAL, COMO RESTAURADOR ECOLÓGICO DEL SUELO	59
1.	<u>Tiempo a la prefloración</u>	60
2.	<u>Porcentaje de cobertura basal</u>	64
3.	<u>Porcentaje de cobertura aérea</u>	68
4.	<u>Altura de la planta</u>	71
5.	<u>Producción de forraje verde</u>	75
6.	<u>Producción de materia seca</u>	77
7.	<u>Número de tallos por planta</u>	81
8.	<u>Número de hojas por tallo</u>	85
C.	ANALISIS INICIAL Y FINAL EL SUELO	87
D.	HUMEDAD DEL SUELO	91

E.	DENSIDAD APARENTE	92
F.	EVALUACION ECONÒMICA	93
V.	<u>CONCLUSIONES</u>	96
VI.	<u>RECOMENDACIONES</u>	97
VII.	<u>LITERATURA CITADA</u>	98
	ANEXOS	

## RESUMEN

En la provincia de Chimborazo, cantón Riobamba, barrio San Pedro de las Abras, se realizó el estudio de restauración ecológica el suelo mediante la aplicación de diferentes niveles de carbón vegetal (10, 20, y 30 T/ha,) y su efecto en la producción forrajera de alfalfa *Medicago sativa*, evaluándose bajo un Diseño de Bloques Completamente al Azar. Los resultados superiores se obtuvieron al aplicar 30 Tn/ha, de carbón vegetal en el primer corte alcanzó el menor tiempo de ocurrencia a la floración (40,50 días), la mayor cobertura basal (39,35 %) y cobertura aérea (86,0%), así como también la mejor altura (87,98 cm), y sobre todo la mayor producción en forraje tanto en materia verde 15,80 T/FV/Ha/corte; como en seca (33,38 T/MS/Ha/año); y finalmente, el mayor número de hojas por tallo (103,45 unid). En el segundo corte se registró la misma tendencia en donde la respuestas más eficientes fueron alcanzadas con la aplicación de 30T/ha, de carbón vegetal, especialmente en lo que tiene que ver con la mejor cobertura basal (86,55%), y aérea (95,42%), así como también la mayor producción en forraje verde (15,92 T/ha/corte), y producción en materia seca (33,70 T/MS/Ha/año). El análisis económico registro la mayor rentabilidad con 30 t/ha, de Carbón Vegetal por cuanto se alcanzó un beneficio costo de 1,63. Se recomienda aplicar en el *Medicago sativa*, niveles más altos a 30 t/ha, de Carbón vegetal, por cuanto se obtuvo una mayor cantidad de forraje verde por corte, mejoró la calidad de suelo, lo que garantizará obtener rentabilidades económicas que beneficien a los productores y ganaderos además de mejorar la calidad de los suelos.

## ABSTRACT

In de province of Chimborazo, Riobamba city, in the San Pedro of Abras neighborhood. The study of ecological restoration on soil was performed by applying different levels of charcoal (10,20 and 30 t/ha) and its effect of forage production of alfalfa *Medicago sativa* begin evaluated under a block design completely randomized. The best result were obtained by applying 30 t/ha, charcoal since the first cut reached the lowest occurrence time to flowering (40,50 days) increased basal coverage ( 39,35%) and aerial coverage (86,0%) as well as also the best height (87,98 cm) and above the highest forage production in both green fresh (15,80 t/FV/ha/cut) and dried (33,38 t/MS/ha/year) and finally the highest numbers of leaves per stem (103,45). In the second cut the same trend was recorded, where the most efficient responses were archived with the application of 30 t/ha of charcoal, especially with the best basal cover (86,55%) and aerial (95,42%) as well as also the largest production and green forage (15,92 t/ha/cut ), and production in dry matter in 30 t/ha of charcoal because a benefit cost of \$ 1,63 was reached. We recommend applying in *medicago sativa* in higher levels to 30 Y/ ha of charcoal, because a larger amount of green forage by cut was obtained and improved soil quality, which guarantee to obtain and improved soil quality, which guarantee to obtain economic returns that benefic the agricultural and livestock producers besides restoring degraded soils to lower cost and an organic way.

## LISTA DE CUADROS

N°		pág.
1.	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA ALFALFA ( <i>Medicago sativa</i> ).	17
2.	VALOR NUTRITIVO DE LA ALFALFA ( <i>Medicago sativa</i> ).	21
3.	COMPOSICIÓN DE LA MATERIA SECA DE HOJAS Y TALLOS DE LA ALFALFA ( <i>Medicago sativa</i> ).	21
4.	CONDICIONES METEOROLÓGICAS DE LA COMUNIDAD.	25
5.	CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.	25
6.	ESQUEMA DEL EXPERIMENTO.	28
7.	ESQUEMA DEL ADEVA.	29
8.	COMPORTAMIENTO AGROBOTÁNICO DE LA ALFALFA ( <i>Medicago sativa</i> ), EN EL PRIMER CORTE BAJO EL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES DOSIS ( 10,20 Y 30 tn7HA), DE CARBÓN VEGETAL, COMO RESTAURADOR ECOLÓGICO DEL SUELO.	35
9.	COMPORTAMIENTO AGROBOTÁNICO DE LA ALFALFA ( <i>Medicago sativa</i> ), EN EL SEGUNDO CORTE BAJO EL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES DOSIS DE CARBÓN VEGETAL, COMO RESTAURADOR ECOLÓGICO DEL SUELO.	62
10.	EVALUACION ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN FORRAJERA DE ALFALFA ( <i>MEDICAGO SATIVA</i> ), AL RESTAURAR ECOLÓGICAMENTE EL SUELO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE BIOCHAR (CARBÓN VEGETAL).	95

**LISTA DE GRÁFICOS**

Nº		Pág.
1.	Tiempo a la prefloración de la alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.	36
2.	Tiempo a la prefloración de la alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.	38
3.	Porcentaje de cobertura basal de la alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.	40
4.	Porcentaje de cobertura aérea de la alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.	42
5.	Regresión del porcentaje de cobertura aérea de la alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.	44
6.	Altura de la planta de alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.	46
7.	Regresión de la altura de la planta de alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.	47
8.	Producción de forraje en materia verde de la alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.	49

9. Regresión de la Producción de forraje en materia verde de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo. 51
10. Producción de forraje en materia seca de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo. 53
11. Regresión de la producción de forraje en materia seca de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo. 55
12. Número de hojas por tallo, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo. 56
13. Regresión del número de hojas por tallo, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo. 58
14. Número de tallos por planta, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo. 59
15. Tiempo a la prefloración, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo. 64
16. Regresión del tiempo a la prefloración, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo. 66

17. Porcentaje de cobertura basal, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha,), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo. 67
18. Porcentaje de cobertura aérea, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha,), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo. 69
19. Regresión del porcentaje de cobertura aérea, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha,), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo. 71
20. Altura de la planta, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha,), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo. 73
21. Regresión de la altura de la planta, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha,), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo. 75
22. Producción en forraje verde, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha,), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo. 77
23. Regresión de la Producción en forraje verde, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha,), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo. 79
24. Producción en forraje de materia seca ,de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha,), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo. 81

25. Regresión de la producción en forraje de materia seca, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha,), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo. 83
26. Número de tallos por planta, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha,), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo. 87
27. Número de hojas por tallo, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 Tn/ha,), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo. 93

## LISTA DE ANEXOS

N°

1. Evaluación del tiempo a la prefloración de la alfalfa *Medicago sativa* en el primer corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).
2. Evaluación de la cobertura basal de la alfalfa *Medicago sativa* en el primer corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).
3. Evaluación de la cobertura aérea de la alfalfa *Medicago sativa* en el primer corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).
4. Evaluación de la altura de la planta de la alfalfa *Medicago sativa* en el primer corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).
5. Evaluación producción de forraje verde (Tn/ha/corte), de la alfalfa *Medicago sativa* en el primer corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).
6. Evaluación producción de materia seca (Tn/ha/año), de la alfalfa *Medicago sativa* en el primer corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).
7. Evaluación número de tallos por planta, de la alfalfa *Medicago sativa* en el primer corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).
8. Evaluación número de hojas por tallo, de la alfalfa *Medicago sativa* en el primer corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).
9. Evaluación del tiempo a la prefloración de la alfalfa *Medicago sativa* en el segundo corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).
10. Evaluación de la cobertura basal de la alfalfa *Medicago sativa* en el segundo corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).

11. Evaluación de la cobertura aérea de la alfalfa *Medicago sativa* en el segundo corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).
12. Evaluación de la altura de la planta de la alfalfa *Medicago sativa* en el segundo corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).
13. Evaluación producción de forraje verde (Tn/ha/corte), de la alfalfa *Medicago sativa* en el segundo corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).
14. Evaluación producción de materia seca (Tn/ha/año), de la alfalfa *Medicago sativa* en el segundo corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).
15. Evaluación número de tallos por planta, de la alfalfa *Medicago sativa* en el segundo corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).
16. Evaluación número de hojas por tallo, de la alfalfa *Medicago sativa* en el segundo corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).

## **I. INTRODUCCIÓN**

La restauración ecológica es un concepto amplio que implica un conjunto de técnicas y procedimientos que busca de manera integral la restauración de 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 las condiciones ambientales, que tiene su manifestación en aspectos tales como la pérdida de vegetación, 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 la especie y; en general, el deterioro progresivo de distintos tipos de sistemas naturales modificados, cultivados y construidos.

En América Latina, la preocupación más grande 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 poroso del carbón de leña que al ser incorporado como mejorador de suelo, remueve eficazmente el dióxido de carbono neto de la atmósfera, 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. La incorporación de carbón vegetal en los suelos agrícolas, tiene el potencial de remover carbón de la atmósfera; y además, incrementar la calidad de los suelos. Se lo evalúa como mejorador del suelo ya que la quema o combustión *in situ* de los residuos vegetales derivados de la cosecha y poda; así como también, de las malezas es considerada una de las actividades más tradicionales y universales ejercidas sobre el suelo en el campo de la agricultura, cuyos efectos para el ambiente muchas veces son perjudiciales.

Este proceso contribuye con el aumento local y global de la contaminación atmosférica, ya que genera entre otros productos gases invernadero como el CO<sub>2</sub>, material particulado como carbón y otras sustancias que pueden ser consideradas como nocivas, de manera tal que es necesario explorar alternativas que

minimicen este problema, pero que al mismo tiempo signifique una contribución en beneficio de la actividad agrícola. En este escenario, se plantea que el residuo de combustión, dado el proceso químico de obtención, el que incluye la calcinación, y dada la naturaleza de la materia prima vegetal, cuando es incorporado a un suelo, genera en su interacción con el agua, cambios químicos y físico-químicos en ese suelo que favorecen la mayor fijación de fosfatos. La presente investigación tiene como objetivo describir la importancia de los procesos de restauración ecológica en respuesta al deterioro de los mismos, así como describir los distintos mecanismos que pueden conducir a la restauración de un área, sus principios, sus problemas y los resultados obtenidos en algunas experiencias concretas. Todo ello en el marco de la Biología de la conservación como disciplina que provee principios y herramientas para preservar la diversidad biológica a través de la comprensión de la naturaleza de las especies y su sitio en el ecosistema. Por lo expuesto anteriormente los objetivos fueron:

- Restaurar ecológicamente el suelo mediante la aplicación de diferentes niveles de carbón vegetal y su efecto en la producción forrajera de alfalfa *Medicago sativa*.
- Determinar el nivel óptimo de utilización de carbón vegetal (10, 20, y 30 T/ha.), que mejorará el rendimiento productivo sostenible y sustentable forrajero de la alfalfa.
- Establecer el efecto del carbón vegetal en la restauración ecológica mejoramiento químico y microbiológico en un agro ecosistema productor de alfalfa.
- Evaluar la densidad aparente y las curvas características de retención de humedad de los suelos mejorados con carbón vegetal.
- Evaluar la rentabilidad mediante el indicador beneficio/costo, del análisis productivo sostenible y sustentable forrajero de la alfalfa.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **A. DEGRADACIÓN Y NECESIDAD DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA**

Pnuma, W. (2001), reporta que los sistemas degradados son los ecosistemas cuya diversidad, productividad y habitabilidad se ha reducido considerablemente, en el caso de los ecosistemas terrestres degradados se caracterizan por la pérdida de vegetación y suelo y los ecosistemas acuáticos se caracterizan a menudo por sus aguas contaminadas que pocas especies son capaces de tolerar. Específicamente las tierras degradadas son aquellas cuya productividad y diversidad se ha reducido de tal modo que es poco probable que recuperen su estado original a menos que se apliquen medidas de rehabilitación especiales. Este es el caso de grandes extensiones de tierra en la región centro americana donde incluso, los procesos de sucesión secundaria son poco exitosos, ya que el fenómeno de deterioro antropogénico es relativamente reciente y los mecanismos evolutivos que permitirían la adaptación de ciertas especies a tales condiciones, aún no han operado.

Machlis, G. (2003), señala que las tierras parcialmente degradadas, tienen más posibilidades de rehabilitación. Por otro lado, se indica que la degradación de bosques se refiere a la reducción de la productividad y/o diversidad debido a la utilización insostenible de madera (cuando la sustracción es mayor que la sustitución o se modifica la composición de las especies), los incendios (salvo el caso de sistemas forestales que dependen de los incendios para su establecimiento), las plagas y enfermedades, la remoción de nutrientes, la contaminación y el cambio del clima. A nivel de poblaciones animales, la pérdida de variabilidad genética, debida a depresión endogámica y pérdida de potencial evolutivo, pueden reducir las probabilidades de sobrevivencia de una población.

Loney, B. (2001), manifiesta que el mantenimiento de la variabilidad genética necesita de un número mínimo de individuos reproductivos lo cual, por diversas razones, no se cumple para muchas poblaciones animales. En estos casos,

pueden ser útiles diferentes mecanismos que tiendan a restaurar los sistemas a través de la recuperación de los tamaños mínimos viables de las poblaciones de especies animales. En términos generales, se hace énfasis en que para vivir de manera sostenible es necesario simultáneamente: Proteger los sistemas naturales; lograr una producción sostenible de los recursos silvestres renovables a partir de sistemas modificados; lograr una producción sostenible de cultivos y ganado a partir de sistemas cultivados; lograr un desarrollo de los sistemas construidos, que tenga debidamente en cuenta las necesidades de las comunidades humanas y ecológicas; y restaurar o rehabilitar los sistemas degradados. La restauración ecológica es una ciencia emergente con una profunda importancia en conservación biológica. Los esfuerzos que se hacen actualmente en este campo son escasos. Sin embargo, a medida que aumenta el uso de recursos en las diferentes regiones, será más frecuente encontrarse con casos críticos que requieren de restauración ecológica. La restauración de comunidades podría convertirse en un componente importante de la conservación de la biodiversidad mundial.

### **1. Restauración ecológica**

Jackson, L. (2002), define a la restauración ecológica como " El proceso de alterar intencionalmente un sitio para establecer un ecosistema". La meta de este proceso es imitar la estructura, función, diversidad y dinámica del ecosistema específico a restaurar. Existen tres formas básicas de restaurar un área degradada:

- Recuperarla: Volviendo a cubrir de vegetación la tierra con especies apropiadas,
- Rehabilitarla: Usando una mezcla de especies nativas y exóticas para recuperar el área, y
- Restaurarla: Restableciendo en el lugar el conjunto original de plantas y animales con aproximadamente la misma población que antes.

Según <http://www.restauracionecol.com>.(2012), existe un nivel de degradación por debajo del cual no habrá recuperación plantea que la restauración es indicada cuando el proceso normal de recuperación sería demasiado lento o no ocurriría porque se traspasó algún límite ecológico. Ejemplos de dichos límites son.

- Cuando el área es vulnerable ante trastornos recurrentes (incendios).
- Cuando hay pocos remanentes de las comunidades originales y las distancias de dispersión son largas (como por ejemplo en las islas).
- Cuando la tasa de dispersión de las principales especies animales o vegetales es baja.
- Cuando ciertas especies clave no pueden recolonizar sin ayuda externa (por ejemplo especies poco comunes o en peligro de extinción, o especies de vital importancia funcional). Cuando hay una cantidad excesiva de malas hierbas y plagas.

Loney, B. (2001), manifiesta que en el contexto anterior y considerando los postulados funcionales de la conservación biológica, así como diferentes conceptos relacionados con el diseño de áreas protegidas, el manejo de poblaciones silvestres y procesos dinámicos de los ecosistemas provocados por distintos tipos de perturbaciones; es posible identificar diferentes mecanismos que conducen a la restauración ecológica de sistemas degradados. Es importante señalar que el mecanismo más adecuado depende de las características particulares del sistema a restaurar, así como de la intensidad de deterioro, el objetivo del área, las especies, los resultados esperados y otros. Sobre este punto, se menciona que los sistemas degradados pueden restaurarse para alcanzar diversos objetivos, cada uno de los cuales puede atenderse mediante diferentes técnicas óptimas.

Jackson, L. (2002), asevera que en algunos lugares, al aumentar la producción de cultivos alimenticios, árboles y otros productos de uso humano puede ser lo principal, y puede resultar conveniente utilizar monocultivos de rápido crecimiento.

En otros sitios, los servicios de protección ambiental (como los referentes a ciclos hídricos) puede ser lo más importante, siendo conveniente utilizar una diferente combinación de técnicas. En otros, todavía los objetivos pueden consistir en hacer que la zona degradada vuelva a un estado casi natural, para lo cual se necesita un enfoque muy diferente. Todos estos enfoques pueden respaldar la conservación de la biodiversidad eliminando las presiones que sufren los ecosistemas naturales o ampliando las zonas naturales. En el presente trabajo se consideran seis mecanismos de restauración ecológica, a saber.

- Sucesiones secundarias
- Reforestaciones
- Introducción de especies
- Reintroducción de especies
- Translocaciones
- Corredores biológicos

Imbach, A. (2009), señala que las sucesiones secundarias y la reforestación, están directamente relacionados con la recuperación inicial de las tierras a través del establecimiento y desarrollo de vegetación. En el proceso de sucesiones secundarias se regeneran principalmente especies nativas, sin embargo, dependiendo de la composición florística original del sitio y su prevalencia en el banco de semillas del suelo, es posible la regeneración de especies exóticas. Las reforestaciones pueden incluir especies nativas y exóticas. Las introducciones, reintroducciones y translocaciones, aunque son mecanismos válidos para especies vegetales y animales han sido más aplicados en el manejo de poblaciones animales. Finalmente, el uso de corredores biológicos ha sido comúnmente relacionado con el manejo de poblaciones animales, no obstante, es de aplicación en el campo florístico para especies que tienen baja capacidad de dispersión de diásporas. Los mecanismos relacionados con especies animales, llevan implícito la determinación de datos biológicos acerca de las poblaciones que tienden a evitar su pérdida y restaurar su hábitat.

## **B. MECANISMOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA**

### **1. Sucesiones secundarias**

Machlis, G. (2003), explica que el restablecimiento de la producción de las tierras degradadas debe ser necesariamente la orientación principal de la labor de restauración en muchos lugares, especialmente en las zonas más pobres y más densamente pobladas. Las cifras existentes, señalan que el problema de deterioro de las tierras y la pérdida de la vegetación es de alcance general, la degradación del suelo inducida por los seres humanos, primordialmente la erosión provocada por el agua y la reducción de los elementos nutritivos.

Biatti, S. (2003), reporta que los investigadores consideran en su mayoría que la degradación es "moderada", es decir, que aunque las funciones bióticas originales (la habilidad para procesar nutrientes en forma útil para las plantas), han sido parcialmente destruidas, con mejoras importantes se puede recuperar la productividad. Estiman que 300 millones de ha (24%) muestran degradación "severa", es decir que sus funciones bióticas originales han sido fuertemente destruidas y solo con ayuda técnica y fuertes inversiones financieras se pueden recuperar. Finalmente, alrededor de 9 millones de ha (1%) han sufrido degradación "extrema", es decir, degradación más allá de sus posibilidades de recuperación.

Según <http://www.restauracionecologica.com>.(2012), se ha planteado que vivimos en la época de la vegetación secundaria por grandes extensiones de los neotrópicos, las tierras abandonadas después de un esfuerzo en vano de cultivarlas son colonizadas primero por especies herbáceas y luego por leñosas, y se va desarrollando un bosque secundario que a veces tiene su propio potencial para manejo sostenible. Se dan procesos dinámicos en cualquier ecosistema natural a muchos niveles, en respuesta a muchos tipos de perturbación, uno de los procesos dinámicos que se desarrolla a plazo relativamente corto es el de las sucesiones. Este concepto de la ciencia ecológica

trata de un proceso de cambio de la estructura y la composición de la vegetación en un determinado sitio, de manera que a lo largo del tiempo, se encuentra en dicho sitio una serie de comunidades vegetales diferentes; a menudo, cada comunidad es de mayor estatura y biomasa y contiene más especies que la anterior.

Loney, B. (2001), reporta que se reconocen dos tipos de sucesiones, dependiendo del tipo de substrato que la vegetación coloniza. Las sucesiones primarias son aquellas que se desarrollan sobre substratos que nunca antes tuvieron vegetación. Las sucesiones secundarias son aquellas que se desarrollan sobre sitios que son abandonados después que su vegetación natural ha sido completamente destruida. Las sucesiones secundarias se inician más comúnmente en tierras que son cultivadas durante un tiempo y luego se abandonan. Sin embargo, cualquier fenómeno natural que destruya un bosque inicia también una sucesión secundaria. Por su naturaleza, son sucesiones secundarias las que adquieren relevancia en los procesos de restauración de tierras. Estas suceden sobre un suelo ya desarrollado el cual es relativamente favorable para la colonización de las especies secundarias, además de tener propágulos de las mismas (en el banco de semillas, tocones, etc.). Sin embargo, el éxito de las mismas depende del grado de degradación del sitio que, entre otros factores, depende de la fertilidad básica del suelo y el tipo y la duración del uso, mientras más largo es el período de cultivo, menores serán la riqueza florística y productividad del bosque secundario.

### **C. CARBÓN VEGETAL**

Jackson, L. (2002), indica que el carbón biológico, conocido como carbón vegetal (de "biológico" y "charco al", carbón en inglés) o agrichar, consiste en secuestrar carbono con una técnica usada durante siglos, limpia, viable y compatible con otros beneficios a gran escala, tales como el enriquecimiento de los suelos en lugar de su desestabilización, algo que ocurre con otras técnicas más costosas de captura y secuestro de carbono. Su utilidad y valor comercial están asegurados, cuando la actividad humana produce entre 8.000 y 10.000 toneladas de CO<sub>2</sub> al

año. El mar y la tierra absorben la mitad de esta cantidad, mientras la atmósfera incorpora anualmente los al menos 4.000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> humano anuales, que se unen a la concentración ya existente.

### **1. La respiración de la flora**

Bridgewater, P. (2002), manifiesta que la producción humana de dióxido de carbono es muy inferior a la capacidad de las plantas, que absorben anualmente 60.600 millones de toneladas a través de la fotosíntesis, aunque una cantidad similar vuelve a la atmósfera debido a la respiración de la flora en el mundo. Los científicos creen que, si una fracción suficiente de esta cantidad de carbono fuera retenida por el suelo, se evitaría la acumulación de nuevas emisiones. Es aquí donde entra el carbón vegetal, explica que "cualquier materia orgánica que se retire del rápido ciclo de la fotosíntesis y se ponga en el ciclo mucho más lento del carbón vegetal está restando dióxido de carbono de la atmósfera". Alrededor de un 10% de los más de 60.000 millones de toneladas de carbono transformadas al año por la fotosíntesis, procede de residuos agrícolas (restos de maíz, arroz, residuos forestales y desechos de origen animal). Si esta cantidad (6.000 millones de toneladas de carbono) se transformara en carbón biológico mediante la descomposición provocada por técnicas de calentamiento en ausencia de oxígeno (pirólisis), se producirían 3.000 millones de toneladas de carbón vegetal al año, reduciendo las emisiones de carbono en esta misma cifra. Producir carbón biológico (almacenándolo en el suelo y no quemándolo para producir energía) con los restos agrícolas y procedentes de la explotación forestal en todo el mundo (el 10% de la masa vegetal), capturaría anualmente el 75% del CO<sub>2</sub> producido por el hombre.

### **2. Menos CO<sub>2</sub> en la atmósfera y menor impacto agrario**

Imbach, A. (2009), señala que pese a lo novedoso del término, el carbón vegetal no es más que carbón creado mediante la descomposición química de materia orgánica, acelerada por el calentamiento en ausencia de oxígeno o pirólisis. A diferencia del carbón, el carbón vegetal no es usado como combustible, sino para

secuestrar carbono, a la vez que enriquecer la composición del suelo donde es depositado. El repentino interés por el carbón vegetal coincide con la constatación de que otras tecnologías para el secuestro de CO<sub>2</sub> requieren también el uso de grandes cantidades de oxígeno y energía para garantizar la "inyección" del carbono en los lugares elegidos para su almacenamiento, tales como pozos de combustibles fósiles ya agotados. Para reducir un problema, con estas técnicas sofisticadas de secuestro se crean dos nuevas incógnitas. No ocurre lo mismo con el carbón vegetal, que no sólo evita causar daños, sino que altera el propio ciclo del carbono, emitiendo oxígeno a la atmósfera durante el proceso y condensando el carbono en la tierra.

Para <http://www.infoagro.com>.(2012), la producción a gran escala de carbón biológico no sólo promete absorber grandes cantidades de dióxido de carbono y gases contaminantes en suspensión, sino que durante el proceso viable en cualquier lugar y más económico que cualquier alternativa, reduciría el impacto de la agricultura intensiva en todo el mundo. Sorprendentemente, la técnica necesaria para secuestrar carbono y fertilizar regiones enteras habría sido usada por varias civilizaciones, aunque su uso a gran escala ha desaparecido en los últimos siglos. La producción masiva de carbón vegetal, confirman varios estudios, podría hacer más y más barato que cualquier otra técnica por el secuestro de carbono y el enriquecimiento de los suelos del planeta.

Según <http://www.agronomord.blogspot.com>.(2012), el proceso es, además, bien conocido, económicamente viable y compatible con las políticas públicas que, en todo el mundo, promueven el desarrollo rural a través de empleo en el emergente sector medioambiental. El proceso almacena carbono en el suelo, consigue una reducción significativa de otros gases con efecto invernadero (incluidos los derivados del uso de fertilizantes), mejora la calidad del agua, aumenta la fertilidad del suelo y la productividad agraria, además de reducir la presión sobre los bosques primarios, evitando la deforestación en las zonas más pobres algunas de ellas, entre las más pobladas del mundo. Un nuevo estudio confirma que el mundo podría, en teoría, secuestrar de un modo sostenible el 12% de todas las emisiones de gases con efecto invernadero simplemente produciendo carbón

vegetal, motivo por el que ha suscitado el interés de otras publicaciones influyentes entre la élite política. El estudio no sólo explica el potencial del carbón biológico para realizar esta tarea, sino que recuerda que se ha demostrado que añadir carbón vegetal en ciertos suelos evita las emisiones de metano y óxido nítrico, reduce las emisiones de este componente en un 73%, que, en su ausencia, acaban en la atmósfera, concluyen, el carbón vegetal previene la pérdida de nutrientes y acelera las cosechas.

Según <http://www.articulos.infojardin.com>.(2010), la pregunta si se pueden cultivar las plantas necesarias para producir carbón vegetal de un modo sostenible; no tendría demasiado sentido destruir bosques ya existentes, acelerando la deforestación, para producir una sustancia cuyo principal objetivo, además de secuestrar carbono, es la lucha contra la presión humana sobre los bosques primarios. Varios grupos, entre ellos, alertan sobre los efectos secundarios que podría tener la incentivación para producir pastos con la intención de crear carbón biológico. Según estas organizaciones, explicar las ventajas del carbón vegetal en comunidades agrícolas sin profundos conocimientos medioambientales podría incentivar la destrucción de vegetación virgen para producir las plantas que mejor se adapten a la producción de carbón vegetal.

### **3. La avanzada tecnología de las civilizaciones precolombinas**

Lieberg, P. (2003), asevera que varios científicos, así como un número creciente de empresas, privadas y públicas, creen que el carbón vegetal es una solución no sólo para la captura de CO<sub>2</sub>, sino para el aumento de carbono en la tierra y al incremento de su grosor en las zonas más castigadas por la agricultura intensiva. El ser humano sería capaz, de este modo, de aumentar la calidad del aire y del suelo, a través de una actividad económica que crearía beneficios en zonas rurales y económicamente marginales, tales como trabajos de cuello verde. Las tierras negras del Amazonas tienen contenidos de carbono tan elevados que su composición (150 g C/kg) no es comparable a la de otros suelos de la región (20-30 g C/kg), como tampoco lo es el grosor de la capa de suelo fértil (materia orgánica descompuesta), que alcanza en la Terra Preta de Indio entre 1 y 2

metros, muy por encima de los entre 10 y 20 cm de los otros suelos de la región. La propia composición de este suelo, seguramente "producido" por el ser humano hace milenios, según varios estudios, con mucho más carbono que tierras menos fértiles, así como su excepcional grosor, varias veces el de otros lugares de la región, es el sustento del rico ecosistema de la zona y ha convertido grandes cantidades de carbono en nutrientes esenciales para la vida, sin provocar, como los fertilizantes derivados del petróleo, la erosión y posterior empobrecimiento de la tierra. Ejemplos como el del Amazonas no sólo dejan claro que la producción de carbón vegetal no sólo incrementa el grosor de la capa de suelo, almacena el carbono como nutriente en lugar de emitir gases y, con ello, la fertilidad. Con el depósito de carbón biológico en el suelo, también se incrementa la cantidad de fósforo en la tierra, uno de los 3 componentes esenciales para garantizar la riqueza de un terreno, además del potasio y los mencionados carbono y nitrógeno.

Loney, B. (2001), reporta que en el mejor de los escenarios, empresas privadas, asistidas por centros de investigación públicos y privados, hallarían el mejor método para producir carbón vegetal a partir de los restos de cosechas, de animales y procedentes de la gestión sostenible de bosques ya existentes. La masa vegetal y animal obtenida se gestionaría de manera local, por empresas privadas, que obtendrían un beneficio de la producción de carbón vegetal. Idealmente, los ciudadanos de todo el mundo que gestionaran granjas y jardines (hornamentales o agrarios) de cualquier tamaño, podrían convertirse en productores de carbón vegetal a pequeña escala, lo que contribuiría de modo local al secuestro de carbono y el enriquecimiento del suelo, mediante el proceso de pirólisis.

Imbach, A. (2009), señala que un modo activo de reducir el impacto personal y contribuir al ciclo del carbono y de fertilización del suelo, para que abandone poco a poco su reciente dependencia de los combustibles fósiles (fertilizantes químicos que aumentan artificialmente los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio en la tierra) y vuelva al proceso de fertilización que empieza en el sol y acaba en la tierra: el sol alimenta a las plantas, que a su vez alimentan a los animales que

consumimos, cuyos restos se convierten, conjuntamente con los producidos por las plantas, en alimento para el suelo, que garantiza su fertilidad para nuevas plantas. Es un producto natural, CO<sub>2</sub> negativo, obtenido mediante ecopirólisis de biomásas seleccionadas, de fuentes sostenibles y renovables, sin aditivos químicos. Es idóneo para agricultura ecológica/orgánica, cultivos intensivos bajo plásticos e invernaderos, fruticultura, horticultura, hornamentales, bonsái, césped, aplicaciones agroforestales y recuperaciones de suelos en general. La proporción de carbono en un kilo de carbón vegetal es de aproximadamente 84%, es decir de 840 gramos. En el proceso de incineración, cada átomo de carbono (C) se combina con dos átomos de oxígeno (O) para formar CO<sub>2</sub>.

Bietti, S. (2003), indica que el átomo de carbono tiene un peso atómico de 12, mientras que el átomo de oxígeno tiene un peso atómico de 16. Por consiguiente, una molécula de CO<sub>2</sub> tendrá un peso atómico de 44 (2 x 16+12). Por lo tanto, el peso del CO<sub>2</sub> que resulta de un proceso de incineración es 3,666 (44/12) veces mayor que el del carbono incinerado. Lógicamente, entonces, el peso del CO<sub>2</sub> secuestrado en un kilo de carbón vegetal es de aproximadamente 3,079 kg (840 gramos x 3,666). Se evita 3 kilos de emisiones de CO<sub>2</sub>, procedentes de fuentes fósiles, por cada kilo de carbón vegetal que se utilice. Los partidarios dicen que el carbón vegetal (carbón biológico), podría servir para paliar en gran medida el cambio climático aportando al mismo tiempo toda una serie de beneficios. Pero otros temen que sea peor el remedio que la enfermedad. Cuando se extiende por la tierra, el carbón vegetal mantiene el CO<sub>2</sub> alejado de la atmósfera mejorando la fertilidad del suelo y aumentando la productividad.

Pnuma, W. (2001), reporta que los gases que se desprenden en el proceso de fabricación del carbón pueden utilizarse para hacer unos biocombustibles más sostenibles que los que actualmente se encuentran en el mercado. "El carbón vegetal es lo único que aporta una solución integral. Es una oportunidad única". Pero si bien los entusiastas presionan para que se reconozca el carbón vegetal como un método oficial para compensar las emisiones de gases de efecto invernadero, otros se muestran cautelosos. Los críticos dicen que todavía se sabe muy poco y que, en el peor de los casos, el uso del carbón vegetal para

secuestrar el carbono podría tener consecuencias imprevistas, como la destrucción de la selva virgen para establecer plantaciones. “El carbón vegetal tiene posibilidades reales, pero resulta prematuro incluirlo ya en la contabilidad del carbono. Quizá sea una respuesta, pero todavía no lo sabemos.” aunque la idea de usar el carbón vegetal para mitigar el cambio climático sea relativamente nueva, sus orígenes se remontan a las épocas precolombinas, cuando los seres humanos utilizaron por primera vez la terra preta “tierra negra”, en portugués en la cuenca amazónica. Según los arqueólogos, la rica y fértil terra preta se producía añadiendo una mezcla de huesos, estiércol y carbón vegetal a un suelo relativamente infértil durante muchos años. El carbón vegetal que se consideraba el ingrediente fundamental está 70 veces más concentrado en la terra preta que en los suelos circundantes y se forma calentando la biomasa en un entorno pobre en oxígeno o carente de él. Su permanencia ha llamado la atención de los investigadores, que creen que se podría utilizar como sistema para encerrar el carbono durante un tiempo igual de largo en el futuro, manteniéndolo fuera de la atmósfera como gas de efecto invernadero.

#### **D. ALFALFA**

En <http://www.botanicalonline.com>.(2012), informa que la alfalfa tiene su área de origen en Asia Menor y sur del Caúcaso, abarcando países como Turquía, Irak, Irán, Siria, Afganistán y Pakistán. Los persas introdujeron la alfalfa en Grecia y de ahí pasó a Italia en el siglo IV A. C. La gran difusión de su cultivo fue llevada a cabo por los árabes a través del norte de África, llegando a España donde se extendió a toda Europa. Es ampliamente cultivada en todo el mundo como planta forrajera para el ganado. En América se cultiva desde la llegada de los europeos variedades tanto al nivel del mar como en los Andes hasta 3.700 metros sobre el nivel del mar.

En <http://www.wagronomord.blogspot.com>.(2013), expresa que se trata de un cultivo muy extendido en los países de clima templado. La ganadería intensiva es la que ha demandado de forma regular los alimentos que ha tenido que proveer la industria, dando lugar a la siembra de la alfalfa, cuya finalidad es

abastecer a la industria de piensos. La especie se cultiva en zonas frías, entre 1.800 y 3.200 m.s.n.m. La importancia va desde su interés como fuente natural de proteínas, fibra, vitaminas y minerales; así como su contribución paisajística y su utilidad como cultivo conservacionista de la fauna. Además de la importante reducción energética que supone la fijación simbiótica del nitrógeno para el propio cultivo y para los siguientes en las rotaciones de las que forma parte.

## **1. Descripción botánica**

### **a. La raíz**

Para <http://www.mundo-pecuario.com>.(2012), indica que la raíz principal es pivotante, robusta y muy desarrollada (hasta 5 m de longitud) con numerosas raíces secundarias. Posee una corona que sale del terreno, de la cual emergen brotes que dan lugar a los tallos. Al tener un gran sistema radicular (de 2 hasta 5 m de longitud, otros autores mencionan hasta 10 m), resiste mucho la sequía pues las raíces tienen un gran campo de acción. Por lo que habrá que utilizar suelos profundos en este cultivo.

### **b. El tallo y las hojas**

<http://www.pasturasyforrajes.com>.(2013), informa que los pequeños y delicados tallos crecen directamente de la raíz principal. La base de los tallos, perenne, sub leñosa, formando una "corona" superficialmente enterrada, ramificada, con muchos rizomas breves y numerosas yemas, que puede medir de 10 a 20 cm; tallos erguidos o ascendentes, herbáceos, poco ramificados, de 30 a 90 cm de altura y aún más, de 3 a 5 cm de diámetro, con médula blanca. Son delgados y erectos para soportar el peso de las hojas y de las inflorescencias, además son muy consistentes, por tanto es una planta muy adecuada para la siega. Las primeras hojas verdaderas son unifoliadas, aunque las normales son trifoliadas y pecioladas. Los folíolos se presentan en formas más o menos oblongas y

anchas. Las hojas son alternas, compuestas, trifoliadas, con estipulas triangular- tubuladas, dentadas, su tercio inferior soldado a la base del pecíolo, hasta 17 mm de largo, pecíolo acanalado, de 1 a 6 cm de largo; 3 foliolos, el mediano sobre pecioluelo mayor que los laterales, de 3 a 6 mm de largo, los tres denticulados en la mitad o el tercio apicales.

### **c. La inflorescencia y el fruto**

En [http://www.abcagro.com/herbaceos/forrajes/alfalfa.\(2012\)](http://www.abcagro.com/herbaceos/forrajes/alfalfa.(2012)), menciona que son de color entre azul y púrpura. En racimos axilares, de aproximadamente 3 a 10 cm de largo, sostenidas por una bráctea lineal pequeña y por un breve pedicelo; zigomorfas, pequeñas, papilionadas (amariposadas); cáliz verde, corola azul violácea, excepcionalmente blanca o blanquecina, de aproximadamente 1 cm de largo, con 5 pétalos (1 estandarte libre, 2 alas libres y 2 pétalos unidos formando la quilla). El fruto es una vaina, que se enrolla en una característica forma en espiral apretada, de 1 a 4 vueltas, castaña o negruzca a la madurez, finamente reticulado-nerviosa, marginada, tardíamente dehiscente sin elasticidad, con varias semillas amarillas.

## **2. Clasificación taxonómica**

[http://www.mejorpasto.com.ar.\(2012\)](http://www.mejorpasto.com.ar.(2012)), señala que la alfalfa, "reina de las plantas forrajeras", es un miembro de la familia del guisante, es una leguminosa perenne ideal para las rotaciones de cultivos de larga duración. Por lo tanto, el nombre científico de esta leguminosa forrajera es *Medicago sativa*.

## **3. Ecología y adaptación**

### **a. Radiación solar**

Informa [http://www.abcagro.com.\(2012\)](http://www.abcagro.com.(2012)), que es un factor muy importante que influye positivamente en el cultivo de la alfalfa, pues el número de horas de

radiación solar. En el cuadro 1, se describe la clasificación taxonómica de la alfalfa.

Cuadro 1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA ALFALFA (*Medicago sativa*).

REINO	VEGETAL
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Fabales
Familia	Leguminosae
Subfamilia	Papilionoideae
Tribu	Trifolieae
Género	Medicago
Especie	Sativa

Fuente: [http://www.agroamazonas.gob.\(2012\).](http://www.agroamazonas.gob.(2012).)

### **b. Temperatura**

Para [http://www.wagronomord.blogspot.com.\(2012\)](http://www.wagronomord.blogspot.com.(2012)), la temperatura con la que germina la semilla es de 2 a 3 °C. Cuanta más alta sea esta temperatura, antes germinará la semilla, estando su óptimo en 28-30 °C. Esta planta es muy resistente al frío, soportando temperaturas de hasta 15 °C. La temperatura media anual para la producción forrajera está en torno a los 15° C. Siendo el rango óptimo de temperaturas, según las variedades de 18-28° C. Existen variedades de alfalfa que toleran temperaturas muy bajas (-10° C).

### **c. Humedad**

Grijalva, J. (2005), indica que la alfalfa resistente a la sequía aunque necesita grandes cantidades de agua para formar la materia seca (800 l de agua para 1 kg de materia seca). Si queremos que este cultivo sea aún más resistente a la

sequía tendremos que hacer aportaciones importantes de potasio. En el invierno, tolera los encharcamientos de agua durante 2 ó 3 días, no así en el período de crecimiento vegetativo. Si el encharcamiento se prolongase las raíces morirían por asfixia radicular.

#### **d. pH**

Benzing, A. (2012), afirma que el factor limitante en el cultivo de la alfalfa es la acidez, excepto en la germinación, pudiendo ser de 4. El pH óptimo del cultivo es de 7.2, recurriendo a encalados siempre que el pH baje de 6.8, además los encalados incrementan la cantidad de iones de calcio en el suelo disponibles para la planta y reducen la absorción de aluminio y manganeso que son tóxicos para la alfalfa. La bacteria nodulante de la alfalfa es *Rhizobium meliloti*, esta especie es neutrófila y deja de reproducirse por debajo de pH 5. El suelo no debe tener una acidez elevada. Si el pH estuviese por debajo de 6 habría que encalar los suelos cada dos años. Los efectos de esta cal son muy beneficiosos para la alfalfa porque elevan el pH, aumentan el contenido de ión cal y frena la absorción de aluminio y manganeso (perjudiciales para la planta).

#### **e. Salinidad y alcalinidad**

Grijalva, J. (2005), menciona que la alfalfa es muy sensible a la salinidad, que los síntomas comienzan con la palidez de algunos tejidos, la disminución del tamaño de las hojas y finalmente la parada vegetativa con el consiguiente achaparrado. El incremento de la salinidad induce desequilibrios entre la raíz y la parte aérea. El pH óptimo se sitúa en la zona de neutralidad, si bien tolera mejor la alcalinidad que la acidez. Sin embargo, cuando esta alcalinidad alcanza valores muy altos, la disponibilidad de ciertos elementos, tales como el P, Fe, Mg, Bo y Zn, queda reducida llegando algunos casos hasta límites inadecuados para la planta.

#### **f. Profundidad del suelo y factores bióticos**

Para <http://www.mundo-pecuario.com>. (2003), la alfalfa requiere suelos profundos y bien drenados, aunque se cultiva en una amplia variabilidad de suelos. Los suelos con menos de 60 cm de profundidad no son aconsejables para la alfalfa. El factor biótico se refiere a la forma de aprovechamiento de la planta por el ganado. La alfalfa es la base de la alimentación animal en la producción de carne y leche, o como base de alimentación de equinos deportivos.

#### **4. Formas de uso**

##### **a. En verde**

Benzing, A. (2001), afirma que la alfalfa en verde constituye una excelente forma de utilización por su buena calidad y digestibilidad, pero conlleva gastos importantes tanto en mecanización como en mano de obra. Lo recomendable es usarlo al corte y pastoreo. Si se usa “al corte” el cultivo puede durar 15 años en el campo y 8 años si es “al pastoreo”.

##### **b. Henificado**

<http://www.mejorpasto.com.ar>. (2012), indica que el uso de la alfalfa como heno es característico de regiones con elevadas horas de radiación solar, escasas precipitaciones y elevadas temperaturas durante el periodo productivo. El proceso de henificado implica cambios físicos, químicos y microbiológicos que producen alteraciones en la digestibilidad de la materia orgánica del forraje respecto al forraje verde. Por otra parte, en el proceso de henificación debe conservar el mayor número de hojas posible, pues la pérdida de las mismas supone una disminución en calidad, ya que las hojas son partes más digestibles y como consecuencia se reduce el valor nutritivo.

### **c. Ensilado y deshidratado**

En [\(http://www.mejorpasto.com.ar\)](http://www.mejorpasto.com.ar).(2012), es un método de conservación de forrajes por medios biológicos, siendo muy adecuado en regiones húmedas, cuya principal ventaja es la reducción de pérdidas tanto en siega como en almacenamiento. Para conseguir un ensilado de calidad, la alfalfa debe contener un elevado porcentaje en materia seca (30 - 40 %), debiendo estar bien troceado para conseguir un buen apisonamiento en el silo. El deshidratado es un proceso que consiste en la recolección del forraje verde, su acondicionamiento mecánico y el secado mediante ventilación forzada. La alfalfa deshidratada incrementa la calidad del forraje, economía del transporte y almacenamiento, permaneciendo sus características nutritivas casi intactas. Los productos obtenidos se destinan fundamentalmente a las industrias de piensos compuestos.

### **d. Pastoreo**

En [\(http://www.pasturasyforrajes.com\)](http://www.pasturasyforrajes.com).(2012), menciona que el pastoreo es una alternativa a su cultivo en zonas con dificultades de mecanización de las labores de siega y recolección, además de ser un sistema económico de aprovechamiento en la que se reducen los costos de la explotación ganadera. Los inconvenientes que limitan el pastoreo de la alfalfa son los daños del animal sobre la planta (reducen su producción y persistencia) y los trastornos digestivos sobre el animal.

## **5. Valor nutritivo**

Para [\(http://www.abcagro.com/herbaceos/forrajes/alfalfa\)](http://www.abcagro.com/herbaceos/forrajes/alfalfa).(2012), manifiesta que la alfalfa es una excelente planta forrajera que proporciona elevados niveles de proteínas, minerales y vitaminas de calidad. Su valor energético también es muy alto estando relacionado con el valor nitrogenado del forraje. Además es una fuente de minerales como: calcio, fósforo, potasio, magnesio, azufre, etc. Los elevados niveles de  $\beta$ -carotenos (precursores de la vitamina A) influyen en la reproducción de los bovinos. La cantidad de proteína bruta (PB), o contenido

total de proteínas, va a variar también con el estado fenológico de la planta. En el cuadro 2, se reporta el valor nutritivo de la alfalfa.

Cuadro 2. VALOR NUTRITIVO DE LA ALFALFA (*Medicago sativa*).

PARÁMETROS	VALORES	CONTENIDO
Materia seca	%	17.00
Proteína	%	24.30
Fibra bruta	%	8.00
Cenizas	%	2.10
Extracto etéreo	%	2.66
Extracto libre de nitrógeno	%	1.80

Fuente: <http://www.monografias.com/alfalfa.html>.(2012).

En el cuadro 3, se determina la composición de la materia seca de hojas y tallos de la alfalfa.

Cuadro 3. COMPOSICIÓN DE LA MATERIA SECA DE HOJAS Y TALLOS DE LA ALFALFA (*Medicago sativa*).

NUTRIENTES	HOJAS (%)	TALLOS (%)
Proteína bruta	24	10.7
Grasa bruta	3.1	1.3
Extracto no nitrogenado	45.8	37.3
Fibra bruta	16.4	44.4
Cenizas	10.7	6.3

Fuente: <http://www.alfalfa.html>. (2012).

## **6. El cultivo**

### **a. Preparación del terreno**

Grijalva, J. (2005), indica que antes de realizar la siembra es necesario conocer las características del terreno, contenido de fósforo y potasio, condiciones de drenaje y sobre todo el pH. Las labores de preparación del terreno se inician con un subsolado que mejorará las condiciones de drenaje y aumentará la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. A continuación se realizan sucesivos gradeos (de 2 a 3), con la finalidad de nivelar el terreno, disminuir el encharcamiento debido al riego o a intensas lluvias y eliminar las malas hierbas existentes.

### **b. Siembra**

<http://www.agroamazonas.gob.>( 2012), indica que los métodos de siembra son a voleo o con sembradoras específicas de pratenses. La mayoría de las siembras se hacen sólo con alfalfa, pero también puede asociarse con gramíneas. Al voleo, se efectúa lanzando las semillas de manera que caiga uniformemente sobre la superficie del suelo preparado (melga o surco); y siembra en líneas o surco, se esparce la semilla al fondo o costado de los surcos en forma continua.

### **c. Época de siembra**

Para <http://www.monografias.com/alfalfa.html>.(2012), determina que en regiones cálidas y praderas de sequía la siembra se realizará en otoño, pues el riesgo de heladas tempranas es muy reducido; además la planta desarrolla su sistema radicular, almacena las reservas y a partir de la primavera siguiente la explotación está en un nivel alto de producción. Se aconsejan las siembras primaverales en zonas frías de sequía. En cultivos de regadío la siembra se realizará en primavera, aun teniendo en cuenta que su mayor inconveniente es la presencia de malas hierbas.

#### **d. Dosis y profundidad de siembra**

<http://www.agroamazonas.gob.ve>.(2012), indica que si la siembra es con ayuda de una sembradora o se hace en líneas se utiliza 20 kg/ha, si la siembra es en forma manual “al voleo” se debe utilizar 25 kg /ha. En siembras asociadas con gramíneas la dosis de alfalfa debe reducirse a 6 - 8 kg/ha en praderas con pastoreo, y de 12 -16 kg/ha en el caso de praderas de cosecha. La profundidad depende del tipo de suelo: en terrenos pesados está comprendida entre 1 - 1.25 cm, en terrenos ligeros o arenosos, es de 2.5 cm.

#### **e. Abonado**

Según <http://www.agroamazonas.gob.ve>.(2008), se aplicará una enmienda caliza a voleo y enterrada con anterioridad a la siembra, el calcio es muy importante para el crecimiento de la planta y es esencial para la nodulación. La presencia de manganeso y aluminio reduce el crecimiento de las plantas, afectando negativamente al desarrollo de las raíces. Entre el fósforo y el aluminio se produce una interacción negativa, además el aluminio libre en el suelo disminuye la cantidad de fósforo disponible.

#### **f. Nitrógeno, fósforo y potasio**

<http://www.mundopecuario.com.ve>.(2012), menciona que en condiciones óptimas de cultivo; cuando el pH no es muy ácido y no existe déficit de ningún elemento esencial, la alfalfa obtiene el nitrógeno por las bacterias de sus nódulos. Pero durante el estado vegetativo de las plántulas, éstas requieren nitrógeno del suelo, hasta que se formen los nódulos y comience la fijación. Por tanto se debe abonar 20 kg/ha de N, pues cantidades mayores producirán un efecto negativo al inhibir la formación de nódulos.

Según, <http://www.pasturasyforrajes.com.ve>.(2012), recomienda que la fertilización fosfórica es muy importante en el año de establecimiento del cultivo, pues

asegura el desarrollo radicular. Como el fósforo se desplaza muy lentamente en el suelo se recomienda aplicarlo en profundidad incluso en el momento de la siembra con la semilla. En alfalfares de regadío con suelos arcillosos y profundos la dosis de  $P_2O_5$  de fondo para todo el ciclo de cultivo es de 150 - 200 kg/ha. La alfalfa requiere grandes cantidades de este elemento, pues de él depende la resistencia al frío, sequía y almacenamiento de reservas. Se recomienda aplicar abonado potásico de fondo antes de la siembra junto con el fósforo. En suelos pobres se recomienda un abonado potásico de fondo de 200-300 kg/ha y restituciones anuales de 100-200 kg /ha.

## **7. Riego**

Para <http://agronomord.blogspot.com>.(2012), la cantidad de agua aplicada depende de la capacidad de retención de agua por el suelo, de la eficiencia del sistema de riego y de la profundidad de las raíces. La alfalfa requiere la administración hídrica de forma fraccionada, ya que sus necesidades varían a lo largo del ciclo productivo. El aporte de agua en caso de riego por inundación es de 1000 m<sup>3</sup>/ha. En riego por aspersión será de 880 m<sup>3</sup>/ha.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### A. LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realizó en la provincia de Chimborazo, en la ciudad de Riobamba, en el barrio San Pedro de las Abras, vía a Guano en una parcela experimental de alfalfa establecida.

##### 1. Condiciones Meteorológicas del lugar

En el cuadro 4, se exponen las condiciones meteorológicas del cantón Riobamba provincia de Chimborazo, que se encuentra ubicada a una altitud de 2740 msnm, 78° 4' de longitud oeste y a una latitud de 1° 38'sur, mientras tanto que en el cuadro 5, se registran las condiciones del suelo.

Cuadro 4. CONDICIONES METEOROLÓGICAS DE LA COMUNIDAD.

Parámetro	Unidades	Promedio
Temperatura	°C	13,4
Humedad relativa	%	66,2
Precipitación	mm/año	358,8
Heliofanía	Horas luz	8-9

Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. MAGAP (2010).

Cuadro 5. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.

Parámetro	Valores
Ph	6.5
Relieve	plano
Tipo de suelo	Negro
Riego	Dispone
Drenaje	Bueno
Pendiente	2 – 3.5%

Fuente: Instituto Nacional de Desarrollo Agrario. INDA. (2007).

## **B. UNIDADES EXPERIMENTALES**

Para la presente investigación se utilizó una pradera ya establecida donde se aplicaron diferentes dosis de carbón vegetal (carbón vegetal), siendo las dosis de 10 T/ha, 20 T/ha, y 30T/ha, el área total del campo experimental fue de 144 m<sup>2</sup>, de área útil.

## **C. MATERIALES, HERRAMIENTAS, EQUIPOS E INSUMO**

### **1. Materiales y herramientas**

- Estacas.
- Material Vegetativo establecido.
- Flexómetro.
- Machete.
- Azadón.
- Regla graduada.
- Rastrillo.
- Hoces.
- Tijeras.
- Piola de nylon.
- Rótulos de Identificación.
- Bomba de Mochila.
- Pintura.
- Fundas.
- Alambre.
- Libreta de apuntes.

### **2. Equipos**

- Balanza digital.

- Cámara fotográfica.
- Computadora, etc.

### 3. Insumo

- Carbón vegetal a diferentes dosis.

## D. TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Para la restauración ecológica de la pradera de alfalfa se evaluó tres diferentes niveles de carbón vegetal (carbón vegetal), que constituyen los tratamientos, cada uno de ellos constó de cuatro repeticiones, dando un total de 12 unidades experimentales. Las unidades experimentales fueron distribuidas bajo un Diseño de Bloques Completamente al Azar (D.B.C.A.), considerando el siguiente modelo lineal aditivo.

$$X_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Dónde.

$X_{ij}$  = Valor estimado de la variable.

$\mu$  = Media General.

$T_i$  = Efecto proveniente de los Tratamientos.

$\beta_j$  = Efecto proveniente de los Bloques o repeticiones.

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental para cada observación.

### 1. Esquema del experimento

En el cuadro 6, se detalla el esquema del experimento que se utilizó en el presente trabajo de investigación.

Cuadro 6. ESQUEMA DEL EXPERIMENTO.

Tratamiento	Código	Repeticiones	T.U.E (m <sup>2</sup> )	Total (m <sup>2</sup> )
Carbón vegetal 10T/ha,	T1	4	12	48
Carbón vegetal 20T/ha,	T2	4	12	48
Carbón vegetal 30T/ha,	T3	4	12	48
<b>TOTAL</b>		<b>12</b>	<b>36</b>	<b>144</b>

Fuente: Cortez, M. (2012).

T.U.E. = Tamaño Unidad Experimental.

## E. MEDICIONES EXPERIMENTALES

Entre las principales variables experimentales a estudiar estuvieron.

- Tiempo de prefloración (días).
- Cobertura basal (%).
- Cobertura aérea (%).
- Altura de la planta (cm).
- Producción de forraje verde (T/ha,/corte).
- Producción de materia seca (T/ha,/año).
- Número de tallos/ planta.
- Número de hojas/tallo.
- Análisis de suelo inicial y final.
- Humedad del suelo.
- Densidad aparente del suelo.
- Beneficio costo.

## F. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRUEBAS DE SIGNIFICANCIA

La presente investigación se evaluó bajo un Diseño de Bloques Completamente al Azar. Los resultados obtenidos se sometieron a las siguientes técnicas estadísticas.

- Análisis de varianza (ADEVA).
- Separación de medias mediante Tukey ( $P \leq 0.05$  y  $0.01$ ).
- Análisis de regresión y correlación.

### 1. Esquema del ADEVA

El esquema del análisis de varianza (ADEVA) a utilizar en el presente experimento, se demuestra en el cuadro 7.

Cuadro 7. ESQUEMA DEL ADEVA.

Fuente Variación	Grados Libertad
Total	11
Tratamiento	2
Bloques	3
Error experimental	6

Fuente: Cortez, M. (2012).

## G. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 1. Descripción del experimento

La investigación propuesta se desarrolló en una pradera establecida de alfalfa; de acuerdo al diseño y sorteo se delimitaron con estacas e identificaron las unidades experimentales con rótulos, cada unidad experimental tenía una área de 4 x 3 metros (20 m<sup>2</sup>), contándose para el estudio de 12 parcelas, disponiéndose

un área total de 144 m<sup>2</sup>. Se partió con un corte de igualación, se efectuó el análisis químico del suelo antes de la aplicación de los diferentes niveles de carbón vegetal para la correspondiente discusión con los resultados obtenidos y la información bibliográfica que se pudo recopilar. Con una bomba de mochila se aplicaron los diferentes tratamientos; es decir, para el tratamiento T1 10 T/ha, de carbón vegetal; para el tratamiento T2 20 T/ha, de vegetal y para el tratamiento T3 30 T/ha, de carbón vegetal, relacionando la dosis en base al número de metros cuadrados que se disponía a los 15 días del corte, en donde ya estuvieron los pastos con dos hojas verdaderas. Las únicas labores culturales del cultivo se resumieron en el control de malezas y la aplicación del riego en función de las condiciones ambientales que predominen en la zona de estudio.

## **H. METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN**

### **1. Tiempo de ocurrencia a la prefloración**

Este estado fenológico se determinó en forma visual, se expresó en días, y se consideró del 5 al 10% de plantas con flor.

### **2. Cobertura basal (%)**

Para determinar la cobertura basal se utilizó el método de la línea de Canfield, que es bajo el siguiente procedimiento; se midió el área ocupado por la planta en el suelo, se sumó el total de las plantas presentes en el transecto y por relación se obtuvo el porcentaje de cobertura basal. Procedimiento que se realizó cada 15 días hasta la prefloración.

### **3. Cobertura aérea (%)**

El procedimiento fue semejante al de la cobertura basal con la diferencia que la cinta se ubicó en relación a la parte media de la planta. Del mismo modo que la cobertura basal se realizó cada 15 días hasta la prefloración.

#### **4. Altura de la planta**

La altura de la planta de alfalfa se midió desde la base del tallo hasta la media terminal de la hoja más alta con la ayuda de una cinta, considerando muestras al azar de las plantas que se encuentran en la Línea de Canfiel para posteriormente determinar un promedio general de la parcela y eliminar el efecto del borde.

#### **5. Producción de forraje en materia verde y seca. (T /ha)**

Se evaluó en función al peso, para lo cual se cortó una muestra representativa de cada parcela mediante la utilización de un cuadrante de 1 m<sup>2</sup>, dejando en la planta una altura de 5 cm, para el rebrote, el peso obtenido se relacionó con el 100% de la parcela, y posteriormente se estimó la producción en T/ha, para obtener la producción de materia seca se procedió a multiplicar la producción de forraje verde por el contenido de materia seca proveniente del análisis bromatológico proximal de cada tratamiento.

#### **6. Número de tallos por planta, (tallos/planta)**

Para evaluar esta variable se seleccionó 15 plantas al azar de los surcos intermedios y se procedió a contar los tallos por planta para cada tratamiento y se calculó sus respectivos promedios.

#### **7. Número de hojas por tallo**

Para tomar esta variable se contaron con 15 plantas al azar de los surcos intermedios y las hojas por tallo, para cada tratamiento y se calculó sus respectivos promedios.

## **8. Análisis del suelo inicial y final**

Se tomaron muestras del suelo de la parcela establecida de alfalfa donde se desarrolló la investigación antes y después de la aplicación de los diferentes niveles de carbón vegetal (10,20 y 30 T/ha,), y se los sometió a los análisis químicos en el laboratorio de la Facultad, para conocer el contenido de nutrientes minerales.

## **9. Humedad del suelo**

El método que se utilizó para la determinación de la humedad del suelo en el laboratorio, se lo realizó por medio del secado al horno, en donde la humedad de un suelo es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente entre en una determinada masa del suelo y el peso de las partículas sólidas, es decir

$$w = (W_w / W_s) * 100 \quad ( \% )$$

Donde.

$w$  = Contenido de humedad expresado en %.

$W_w$  = Peso del agua existente en la masa de suelo.

$W_s$  = Peso de las partículas sólidas.

## **10. Densidad aparente del suelo**

El valor de la densidad aparente se determinó dividiendo la masa en gramos de una muestra de suelo secada en estufa entre su volumen en mililitros. La colección de la muestra se debió hacer con cuidado de no alterar la estructura natural del suelo. La densidad real de un suelo depende principalmente de la composición y cantidad de minerales y de la proporción de materia orgánica e inorgánica que contiene. La densidad de la parte

mineral de un suelo es mayor que la de la materia orgánica porque contiene cuarzo, feldespato, mica y óxidos de hierro como la magnetita y la hematita. La porosidad representó la parte de suelo ocupada por aire y vapor de agua de una muestra de suelo estuvo dado por la relación del volumen total de los poros entre el volumen total de la muestra de suelo.

## 11. Evaluación económica

El cálculo del análisis económico se determinó mediante el indicador económico Beneficio/Costo a través de la siguiente expresión.

$$\text{Beneficio/costo} = \frac{\text{Ingresos totales}}{\text{Egresos Totales}}$$

#### **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

##### **A. COMPORTAMIENTO AGROBOTÁNICO DE LA ALFALFA (*Medicago sativa*), EN EL PRIMER CORTE BAJO EL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES DOSIS DE CARBÓN VEGETAL, COMO RESTAURADOR ECOLÓGICO DEL SUELO**

###### **1. Tiempo de ocurrencia a la prefloración**

En el tiempo de ocurrencia de la prefloración, de la alfalfa *Medicago sativa*, en el primer corte, por efecto de los diferentes niveles de carbón vegetal empleados, las medias presentaron diferencias altamente significativas ( $P < 0,01$ ), determinándose que las plantas con la aplicación 20 T/ha, y 30 T/ha, de carbón vegetal, (T1 y T2), requirieron de un menor tiempo para presentar este estado fenológico, y que fue de 40,50 días para los dos casos en estudio, por el contrario, cuando se aplicó 10 T/ha, las plantas de alfalfa reportaron este estado más tardíamente, es decir que la prefloración se registró a los 45 días en promedio, como se describe en el cuadro 8, y se ilustra en el gráfico 1.

De acuerdo a las respuestas antes descritas se afirma que mayores niveles de carbón vegetal aceleran el apareamiento de la prefloración en la alfalfa lo que puede deberse a lo que señala Colque, T. (2005), quien indica 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. Esta materia orgánica va a constituir la base de todas las cadenas alimenticias que sustentan la vida en la tierra una alternativa para que el suelo disponga de mayor cantidad de carbono es la aplicación de carbón vegetal o carbón vegetal, que es un subproducto de la pirólisis de la biomasa, una forma de producción de bioenergía, al ser incorporado a los suelos como fertilizante, mejora su estructura, es decir, la capacidad para retener agua y nutrientes, sin embargo el carbón vegetal por sí mismo,

Cuadro 8. COMPORTAMIENTO AGROBOTÁNICO DE LA ALFALFA (*Medicago sativa*), EN EL PRIMER CORTE BAJO EL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES DOSIS (10, 20 Y 30 t/ha), DE CARBÓN VEGETAL, COMO RESTAURADOR ECOLÓGICO DEL SUELO.

VARIABLE	NIVELES DE CARBÓN VEGETAL, T/ha,			EE	Prob.
	10 T/ha. T1	20 T/ha. T2	30 T/ha. T3		
Tiempo de ocurrencia a la 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 de forraje verde T/ha,/corte.	12,08 b	15,10 a	15,80 a	0,69	0,02
Producción de materia seca T/ha,/año.	26,92 b	30,80 ab	33,38 a	1,07	0,02
Número de tallos/ planta, unidades.	47,40 a	44,73 a	40,60 a	3,59	0,45
Número de hojas/tallo, unidades.	98,10 ab	93,68 b	103,45 a	1,98	0,04

Fuente: Cortez, M. (2013).

EE: Error estándar.

Prob: probabilidad.

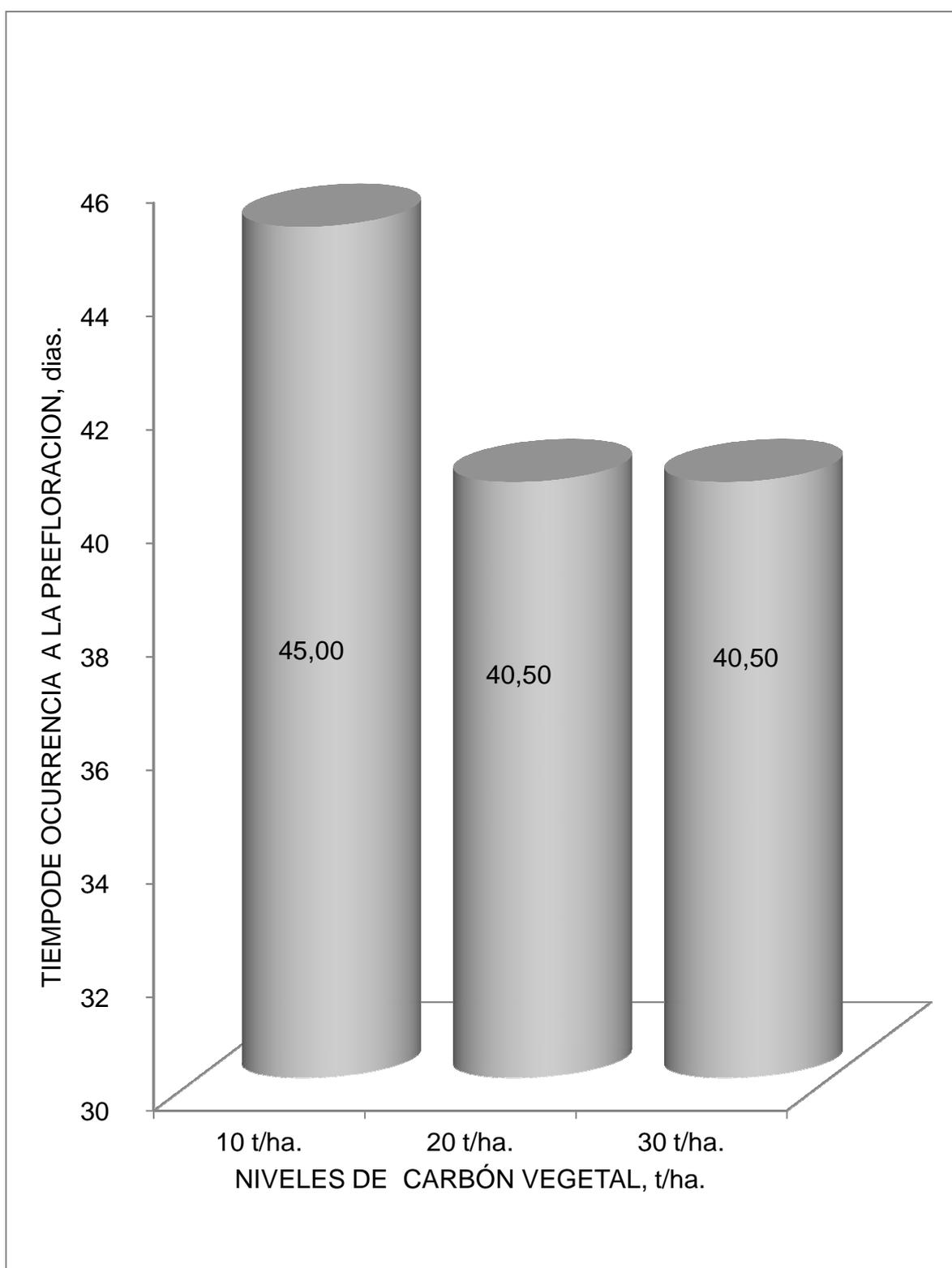


Gráfico 1. Tiempo de ocurrencia a la prefloración de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha,) de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

difícilmente puede ser fertilizante de nada ya que se descompone muy despacio y libera muy pocos nutrientes, como para producir una restauración ecológica del suelo bastante marcada, no obstante su valor reside en su estructura porosa y su capacidad de retener agua, nutrientes, materia orgánica y ser un magnífico sustrato físico para la vida bacteriana en el suelo. Para evitar la pérdida de este carbón por oxidación natural espontánea es necesario que el carbón esté enterrado ya que en superficie se pierde tanto por oxidación como por lavado por la lluvia.

Respuestas que determinan a través del análisis de la regresión una tendencia cuadrática altamente significativa como se ilustra en el gráfico 2, que determina que el tiempo de ocurrencia a la prefloración tiende a decrecer a medida que se incrementa la cantidad de carbón vegetal hasta el empleo de 30 T/ha, pero con cantidades superiores este período tiende a elevarse, con un coeficiente de determinación  $R^2$  de 81,81%; y un grado de asociación negativa alta ya que el coeficiente correlacional fue de -0,78. La ecuación de regresión utilizada fue.

$$\text{Tiempo de ocurrencia a la prefloración} = 54,0 - 1,13 (\text{NCV}) + 0,02(\text{NCV})^2$$

Los datos antes reportados, se los comparará con fertilización orgánica en alfalfa ya que no existen investigaciones que utilicen carbón vegetal, sin embargo Aragadvay, R. (2010), en el primer corte reporta el menor Tiempo de ocurrencia a la prefloración utilizando de 250 g/ha, de *Rhizobiummeliloti*, ya que la presencia de flores de la alfalfa fue a los 43.33 días, superiores a los antes mencionados, A si mismo Chacon, D. (2011), determinó que las plantas sin la aplicación del fertilizante foliar, requirió un menor tiempo para presentar este estado fenológico, y que fue de 39,25 días, en cambio, cuando se aplicó 200 l de biol, las plantas de alfalfa presentaron este estado más tardíamente, es decir que la prefloración se registró a los 41,58 días. Al respecto los datos de la presente investigación son inferiores a los resultados de Tenorio, C. (2011), quien al aplicar varios niveles de *Rhizobium meliloti*, más vermicompost determina un estado de prefloración de la alfalfa a los 45 días. Espin, R. (2011), al evaluar diferentes niveles de fertilización en la alfalfa registra el Tiempo de ocurrencia a la prefloración a los 40,75

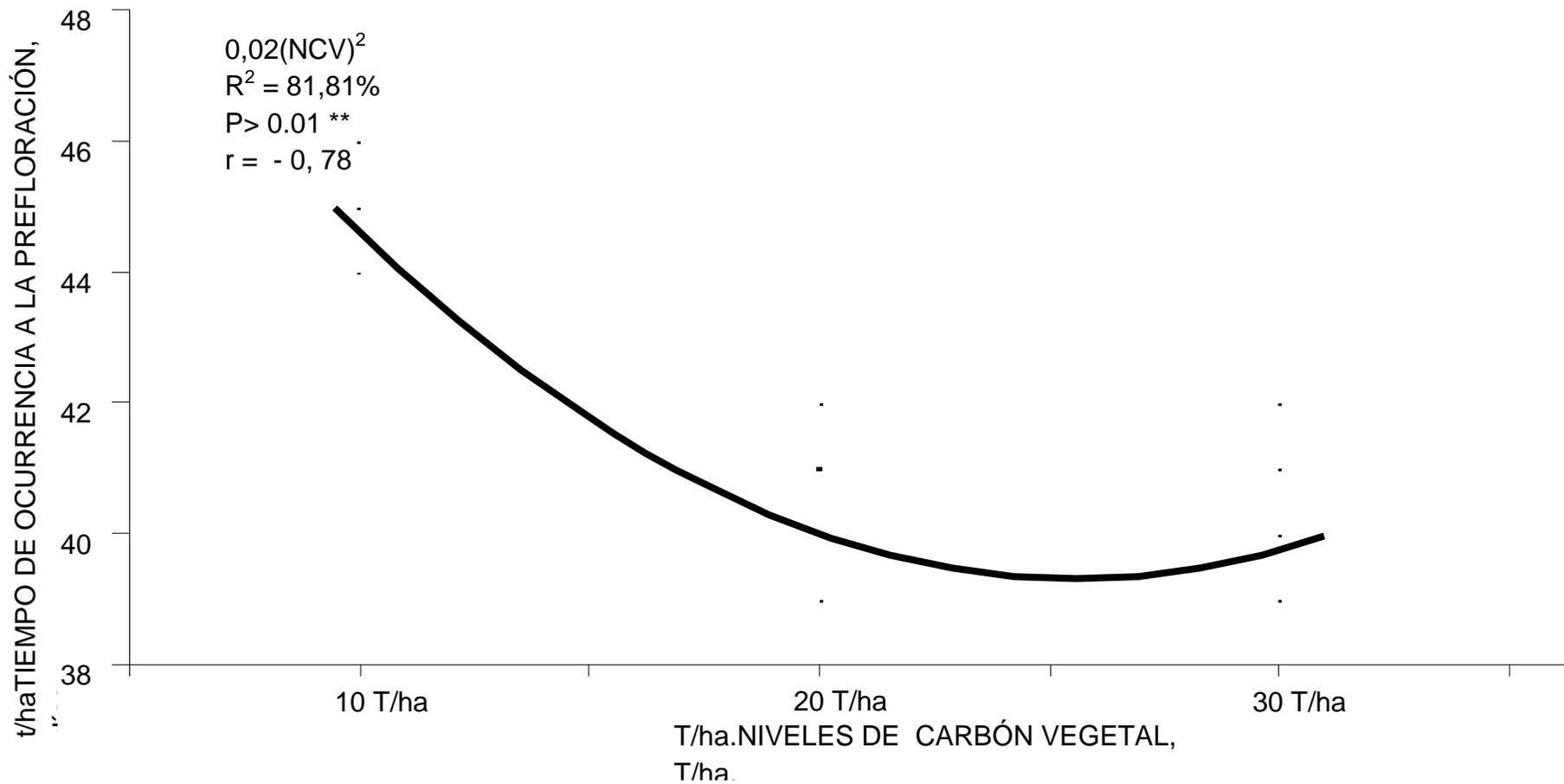


Gráfico 2. Tiempo de ocurrencia a la prefloración de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

días, al aplicar 750 cc de agrohormonas. La eficiencia en los resultados presentados se debe a que en la zona de investigación existió un mejoramiento de las propiedades fisicoquímicas del suelo y un mayor secuestro de CO<sub>2</sub> atmosférico, que influye directamente sobre la productividad de los cultivos evidenciándose el apareamiento de la prefloración más temprana de la alfalfa.

## **2. Porcentaje de cobertura basal**

Los resultados obtenidos del porcentaje de cobertura basal de la alfalfa en el primer corte, no registraron diferencias estadísticas ( $P > 0,05$ ), entre los diferentes niveles de carbón vegetal (T/ha,) aplicado a la parcela experimental; con valores de 39,35% en el tratamiento T3 (30 T/ha.), y que numéricamente son las respuestas más eficientes de la investigación; seguidas de los reportes del tratamiento T1 (10 T/ha.), con un porcentaje de cobertura basal en la alfalfa de 39,25%; mientras que la aplicación del tratamiento T2 (20 T/ha.), reportó un promedio de 37,30%, y que fueron los más bajos, como se ilustra en el gráfico 3.

Al no existir diferencias entre medias se asume que el carbón vegetal no afecta la calidad del suelo debido posiblemente a que su accionar como restaurador ecológico del suelo es más lento que otros productos pero sin embargo según <http://www.dc.delinat-institut.org>.(2013), este tipo de enmienda actúa más lentamente que los fertilizantes químicos pero su efecto es duradero y pueden aplicarse frecuentemente pues no tienen secuelas perjudiciales en los cultivos o forrajes. Cuando se realiza una fertilización orgánica con un porcentaje elevado de nutrientes fácilmente disponible como estiércol líquido o excrementos se deberían compostar primeramente o mezclarse con carbón vegetal que no es un fertilizante primario sino un activador de la estructura del suelo y un proveedor de nutrientes. Unas condiciones de mezcla con el carbón vegetal de 1:1 de relación de masa dan buen resultado en el caso de estiércol sólido, en el caso del estiércol líquido la relación es 1:1 de volumen, lo cual ayuda especialmente en la alfalfa a presentar una mayor cobertura en la base.

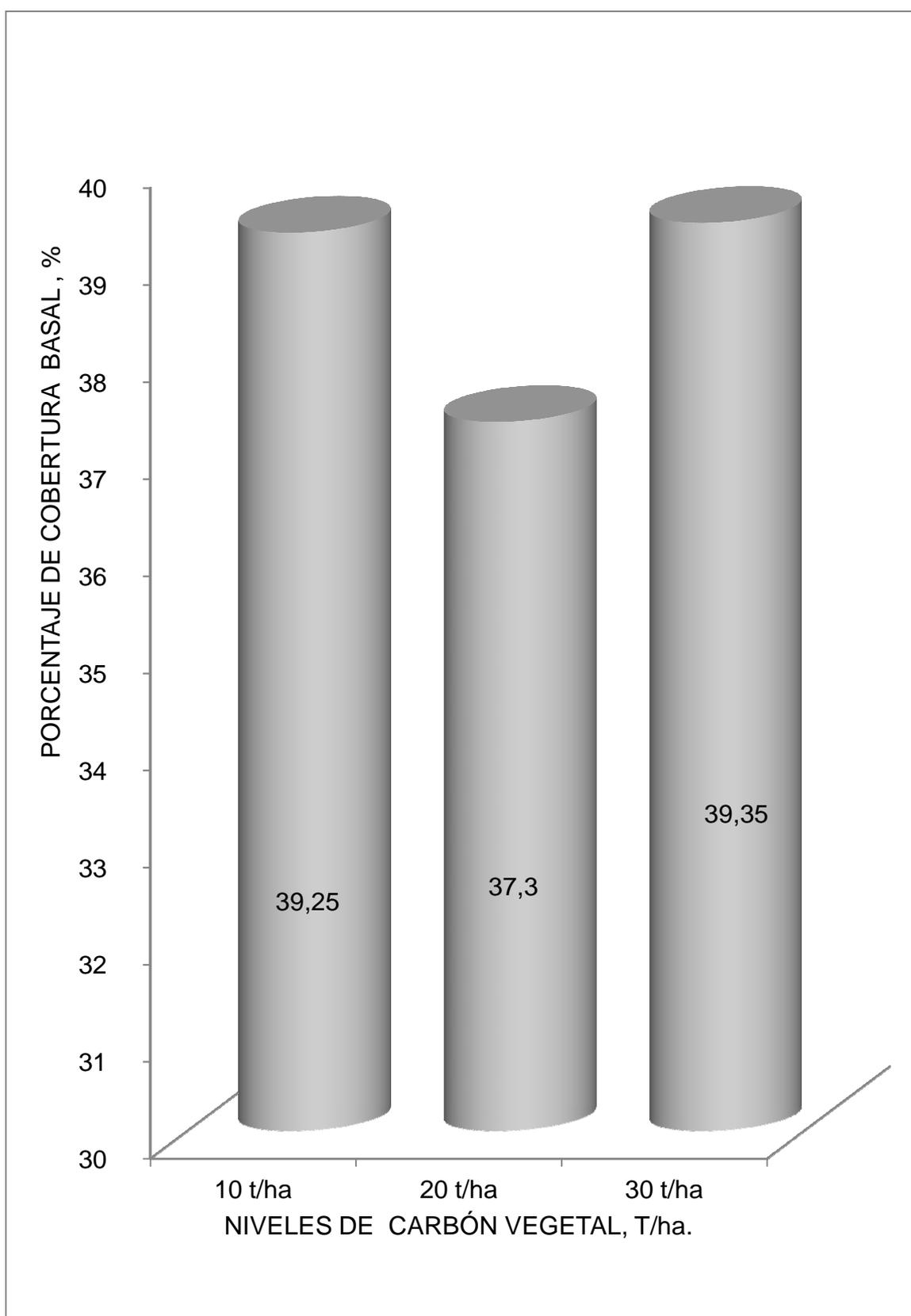


Gráfico 3. Porcentaje de cobertura basal de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

Los resultados obtenidos en la presente investigación son inferior a los reportados en el primer corte de Cordovez, M. (2009), con valores de 39,77% al aplicar 5 T/ha, de bokashi en la producción forraje de alfalfa; así como a los reportados por Chacón, D. (2011), quien al aplicar diferentes niveles de fertilización foliar con biol, alcanza la mejor respuesta con la utilización de 600 l/ha, por cuanto las plantas presentaron una cobertura basal de 26.71. Sin embargo las respuestas son superiores a las determinadas por Aragadvay, R. (2010), quien con el empleo de diferentes niveles de bacterias *Rhizobium meliloti* más la adición de estiércol de cuy en la producción de alfalfa, registró coberturas basales de 10,50 y 11.17%, de similar manera con el estudio de López, A. (2011), quien al evaluar el efecto de diferentes niveles de vinaza, determinó que la cobertura basal de la alfalfa varió entre 12,03 y 14,17%. Lo que se debe a que al aplicar carbón vegetal al suelo se incrementó su fertilidad natural y su alta resistencia a la descomposición de la materia orgánica, así como su gran capacidad para retener nutriente.

### **3. Porcentaje de Cobertura aérea**

El porcentaje de cobertura aérea, en el primer corte, reportó diferencias estadísticamente significativas ( $P \geq 0,01$ ), en los tratamientos aplicados a la alfalfa, obteniéndose como la mayor cobertura aérea a las plantas que se les aplicó 30 T/ha, de carbón vegetal (T3), con 86,70%, seguido por el tratamiento con 20 T/ha, (T2), con 84,90%, para finalmente ubicarse el tratamiento con menores niveles de carbón vegetal (10 T/ha.), de 80,05%, como se ilustra en el gráfico 4. Infiriéndose por lo tanto que mayores niveles de carbón vegetal estimulan el porcentaje de cobertura aérea de la alfalfa, esto se debe a lo señalado en <http://www.veoverde.com>.(2013), donde se manifiesta que en la fertilización siempre hay que tener en cuenta una relación equilibrada de los nutrientes principales que se ajuste a la situación. Es importante que el productor de alfalfa conozca las propiedades de su suelo y que en caso de deficiencias observadas también examine el estado nutricional de la alfalfa mediante análisis foliar. Si se aplica demasiado nitrógeno, esto provoca un crecimiento vegetativo excesivo lo que repercute negativamente en la calidad de la alfalfa, ya que la

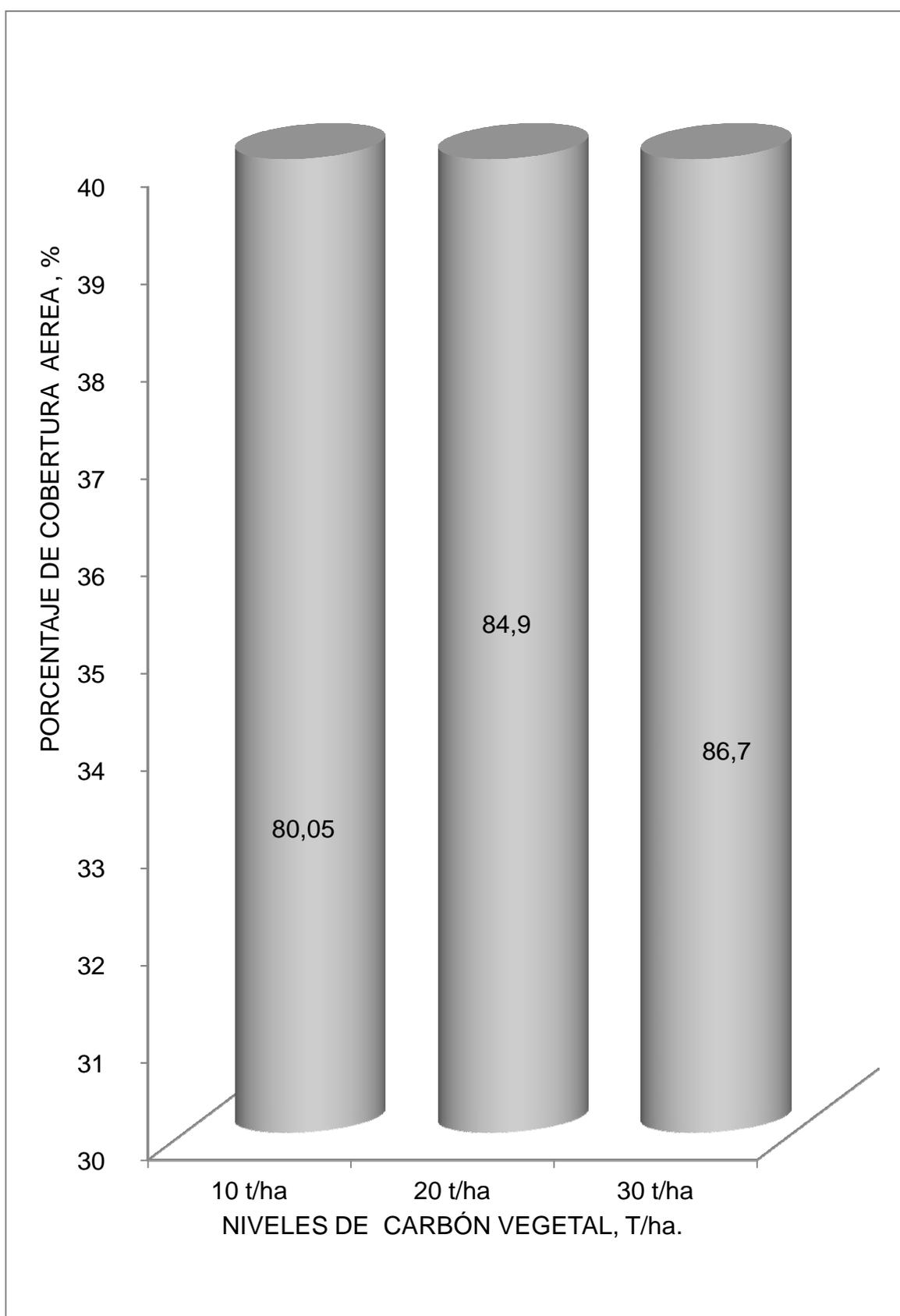


Gráfico 4. Porcentaje de cobertura aérea de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

parcela se vuelve extremadamente sensible a las enfermedades, porque ofrecen una base nutritiva óptima para los parásitos.

Comparando los resultados alcanzados con las investigaciones de Cordovez, M. (2010), en el ensayo con alfalfa ocupando 5 T/ha, de bokashi indica una cobertura aérea de 87.50 %; Chávez, E. (2010), en el primer corte de la alfalfa, señala una cobertura aérea al aplicar 400 L/ha de enraizados más 5 T, de humus/ha, registró una cobertura de 77.00%, Aragadvay, R. (2010), en la biofertilización de este forraje con *Rhizobium meliloti* 250 g/ha, más 20 T/ha, de estiércol de cuy logra una cobertura de 31,75 % a los 45 días, Bayas, A. (2003), quien reporta valores de 79,54 % en las plantas que fertilizó con bokashi, se puede considerar que las respuestas obtenidas son en algunos casos inferiores y en otras superiores, cuya diferencia puede deberse a que se trabajó en una parcelas de alfalfa ya establecidas, o al material utilizado a la presencia de lluvia, es decir a las condiciones climáticas de la región imperantes en el momento de la investigación, tipos de fertilización empleada ya que de acuerdo a <http://www.wrm.org.uy/boletin/138/Carbón vegetal.html>(2013), la incorporación de carbón a los suelos tienen su fundamento en la capacidad de secuestrar carbono o de aumentar por sí misma la fertilidad de los suelos. El carbón vegetal fue creada por pequeños agricultores que, durante muchas generaciones, incorporaron al suelo una mezcla de carbón, compost, huesos animales y de pescado, sedimentos del río, estiércoles y diversos restos de biomasa.

Mediante el análisis de la regresión se identifica una tendencia lineal positiva altamente significativa, que se reporta en el gráfico 5, de donde se deduce que la cobertura basal se incrementa en 0,33%; por cada, unidad de cambio en el nivel de carbón vegetal aplicado a la parcela de alfalfa, además el coeficiente de determinación fue de 53,47%; y se evidenció una correlación alta positiva correspondiente a  $r = 0,73$ . A continuación se describe la ecuación utilizada.

Porcentaje de cobertura aérea =  $77,23 + 0,33$  (NCV).

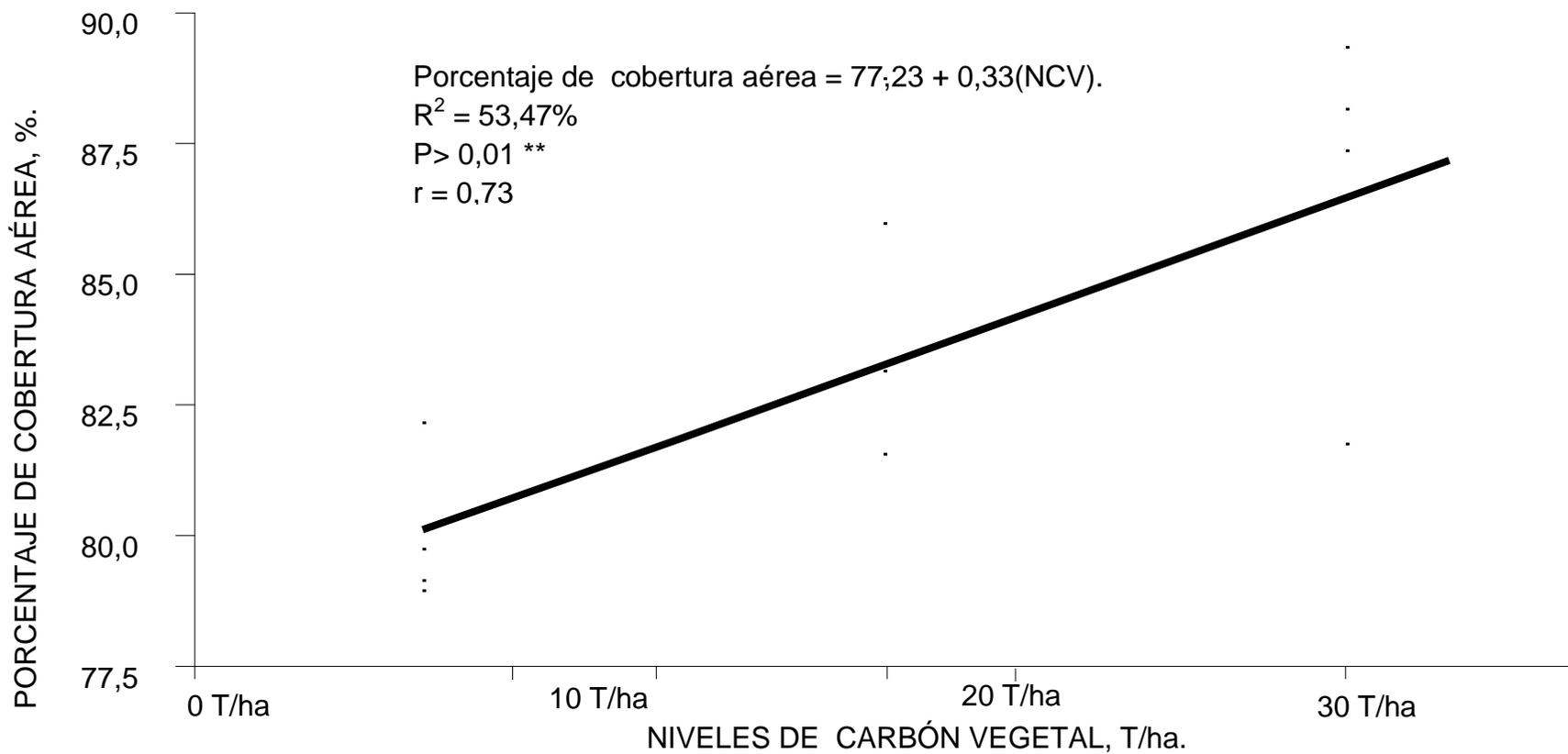


Gráfico 5. Regresión del porcentaje de cobertura aérea de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha,) de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

#### **4. Altura de la planta**

En el estudio de la variable altura de la alfalfa, en el primer corte al fertilizar el suelo con diferentes niveles de carbón vegetal, en las parcelas experimentales se determinó diferencias estadísticas altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ), registrándose por lo tanto la mayor altura para las parcelas que se aplicó el tratamiento T3, con 87,98 cm, y que desciende a 85,08 cm, al aplicar el tratamiento T2; mientras tanto que las respuestas menos eficientes fueron registradas en las parcelas del tratamiento T1 con 78,46 cm, como se ilustra en el gráfico 6.

Por lo tanto se deriva que mayores niveles de carbón vegetal, elevan la altura de la planta de alfalfa, lo que puede deberse según Jackson, L. (2002), a que el carbón vegetal tiene la capacidad de elevar la fertilidad natural del suelo y su alta resistencia a la descomposición de la materia orgánica, así como su gran capacidad para retener nutrientes, el carbón vegetal, fabricado a partir de madera u otros materiales orgánicos resistentes, mediante un proceso de pirólisis a baja temperatura con un aporte limitado de oxígeno, al ser añadido a suelos pobres les aporta carbono muy resistente a su mineralización, que 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 de pastos. El suelo debe tener todos los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, y una estructura que las mantenga firmes y derechas. La estructura del suelo debe asegurar suficiente aire y agua para las raíces de la planta, pero debe evitar el exceso de agua mediante un buen drenaje y la aplicación de cantidades óptimas de carbón vegetal.

Respuestas que son superiores al ser cotejadas con los registros de Chacon, D. (2001), quien al utilizar 200 ml de biol, registró una altura de 79,63 cm, así como también Bayas, A. (2003), quien reporta que con la utilización de bokashi, te de estiércol y biosol como biofertilizantes en la producción de alfalfa obtuvo alturas de las planta en prefloración de 40.60, 43.14, 34.71 cm, en su orden, de igual manera con el estudio de López, A. (2011), quien al evaluar

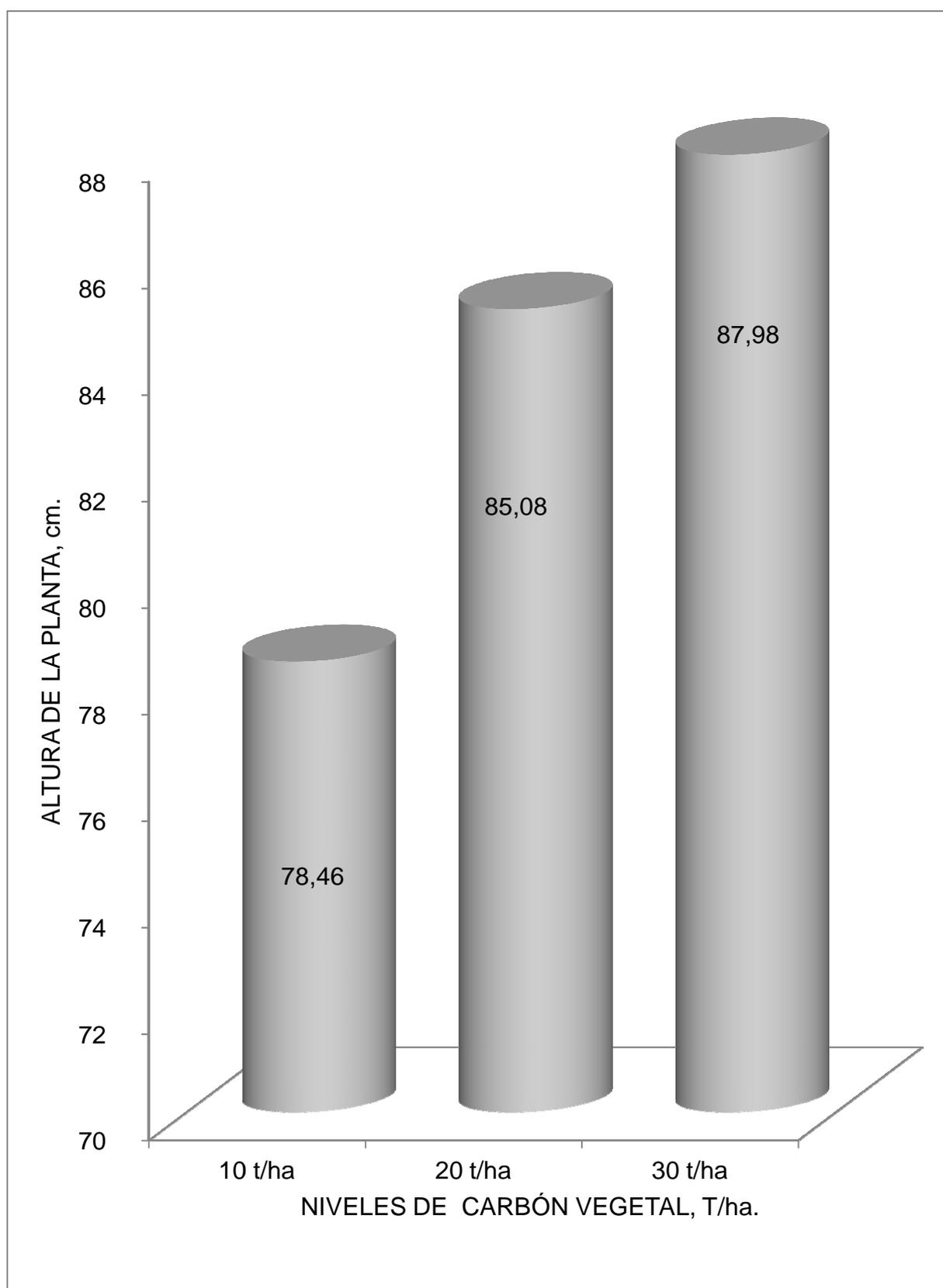


Gráfico 6. Altura de la planta de alfalfa (*Medicago sativa*), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha,) de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

el efecto de diferentes niveles de vinaza, determinó que la alfalfa a los 45 días después del corte de igualación, fluctuó entre 60.43 y 69.02 cm. La mayor altura registrada en la presente investigación pudo deberse a que el carbón vegetal reduce significativamente la pérdida de nutrientes a causa de la lluvia, por retenerlos con fuerza en los agregados del suelo.

En el estudio del análisis de regresión para la altura de la planta, se registró una tendencia lineal positiva altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ), en cual se infiere que la altura de la alfalfa se incrementa 0,48 cm, por cada unidad de cambio en el nivel de carbón vegetal aplicado a la parcela experimental, que se ilustra en el gráfico 7, con un coeficiente de determinación  $R^2$  de 80,79%; mientras tanto que el 19,21% restante depende de otros factores no considerados en la presente investigación, además se evidencio un coeficiente correlación al de 0,90; que señala un grado de asociación positiva altamente significativa. La ecuación de regresión fue.

$$\text{Altura de la planta} = 74,32 + 0,48(\text{NCV}).$$

## **5. Producción de forraje verde**

El análisis de varianza de la producción de forraje verde del primer corte reportó diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ), por efecto de la aplicación de diferentes niveles de carbón vegetal, estableciéndose la mejor producción de forraje verde en las parcelas del Medicago sativa (alfalfa), a las que se aplicó 30 T/ha, de carbón vegetal con 15,80 (T/ha,/corte), mientras que el menor rendimiento forrajero con 10 t/ha,(T1), con valores de 12,08 t/FV/ha/corte, así mismo valores intermedios fueron registrados en las parcelas del tratamiento con 20 t/ha, (T2), con 15,10 t/FV/ha/corte, como se ilustra en el gráfico 8, lo que puede deberse a lo manifestado por Imbach, A. (2009), quien indica que para obtener el máximo aprovechamiento de los cultivos no queda otro remedio que suministrarles los elementos que precisen para completar su nutrición, la mayor parte de los nutrientes se recicla por las raíces de la planta y vuelven al suelo a través de las hojas que caen de la misma.

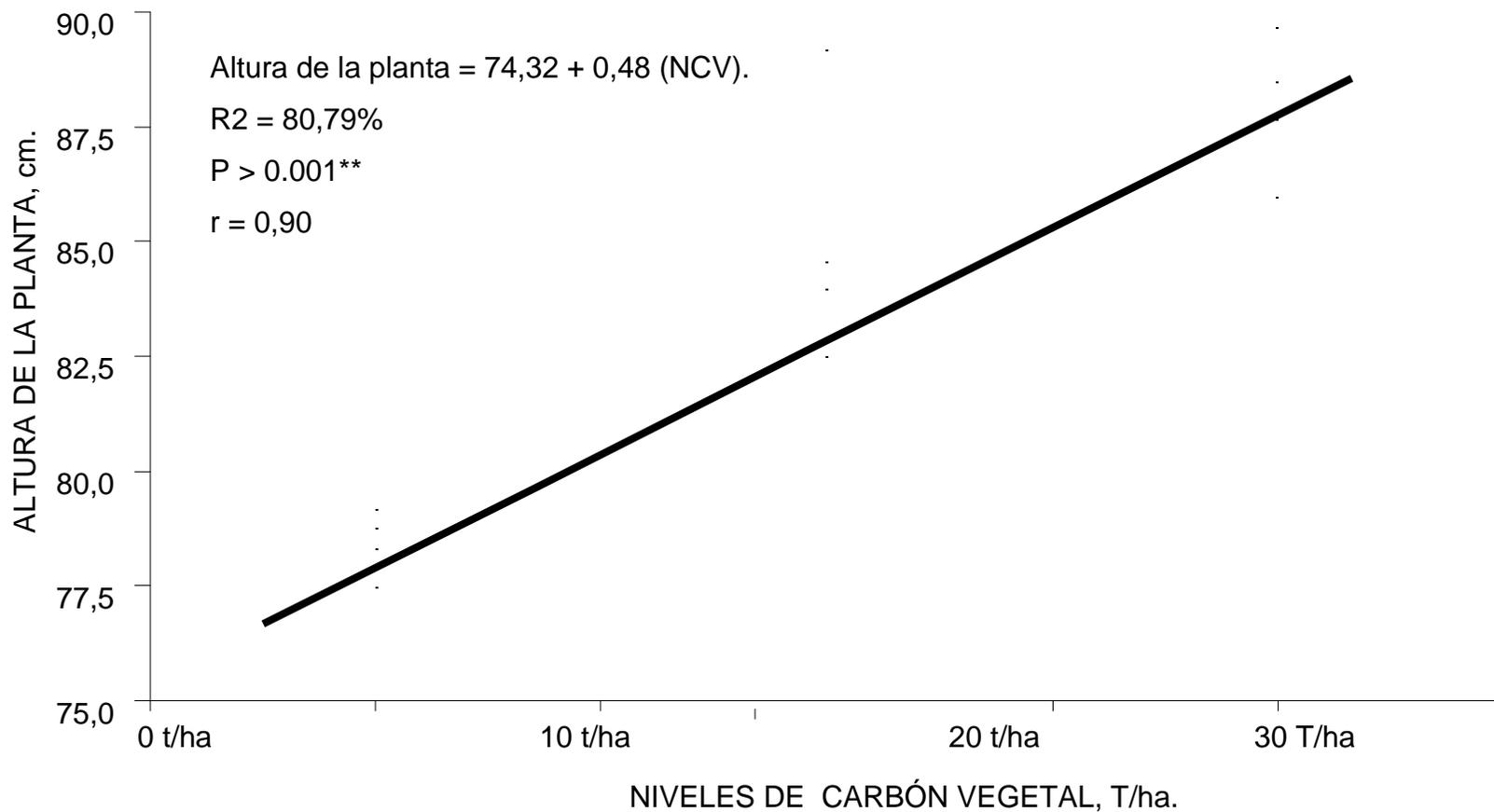


Gráfico 7. Regresión de la altura de la planta de alfalfa (*Medicago sativa*), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 t/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

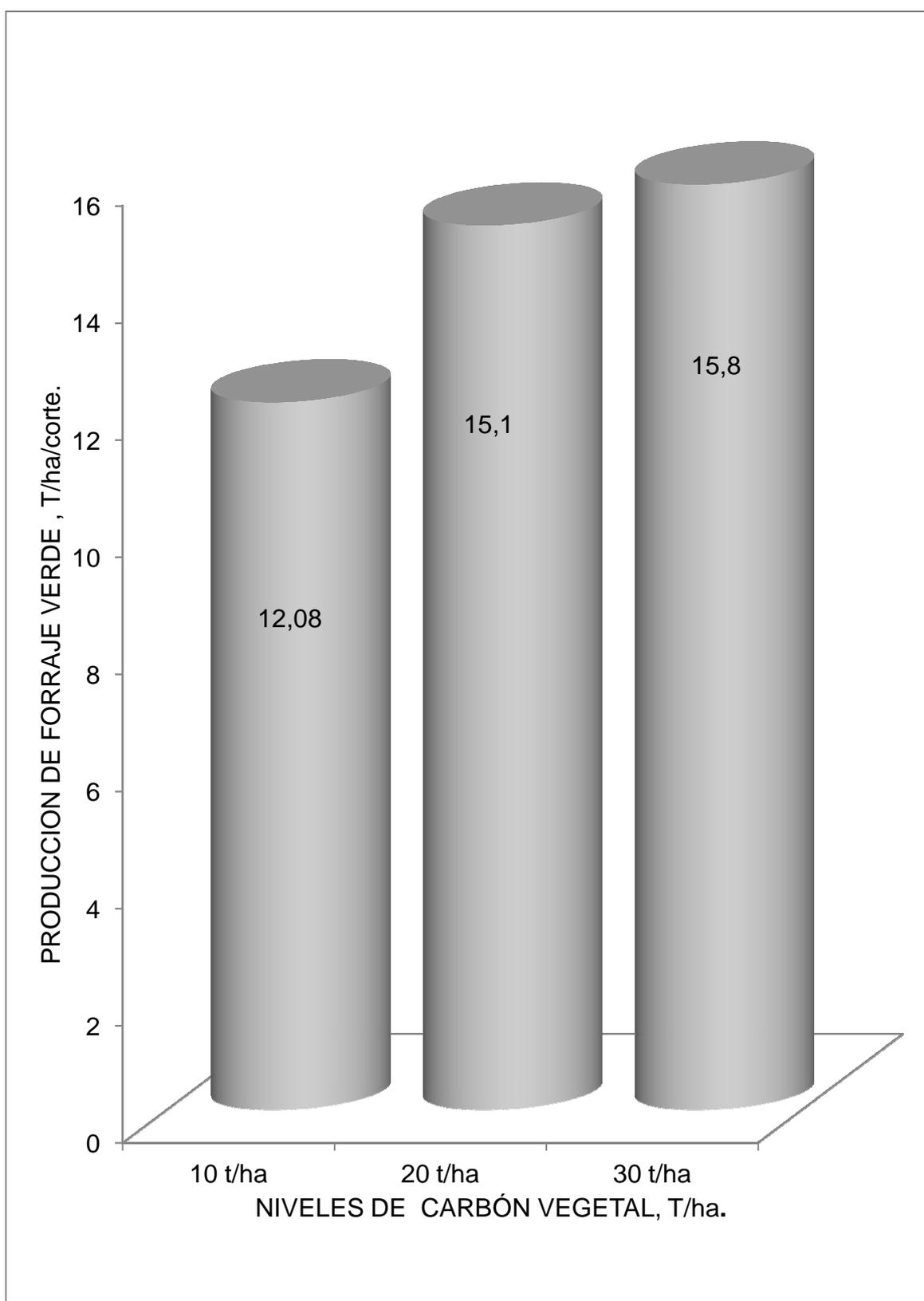


Gráfico 8. Producción de forraje en materia verde de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

Lo que se ha utilizado hasta ahora en la mayoría de los casos de fertilización han sido medidas que ayudan a proteger el suelo y mantener su fertilidad. Sin embargo, no se va a llegar a un manejo adecuado y ecológico del suelo solamente con usar una o dos tecnologías, sino hay que llegar a un sistema integral utilizando una combinación de varios fertilizantes más el carbón vegetal, ecológico, sólido, estable y excelente para corregir y potenciar suelos ácidos y de poca fertilidad, como también para aumentar significativamente de forma natural el rendimiento de las cosechas y de biomásas para uso como biocombustibles. El carbón vegetal almacena más de tres veces su peso en CO<sub>2</sub>, procedente de la atmósfera, contribuyendo a la reducción de los gases de efecto invernadero.

El modelo de regresión para la producción de forraje verde (T/ha./corte) en la alfalfa del primer corte que se observa en el gráfico 9, indica una tendencia cuadrática significativa ( $P < 0,001^{**}$ ), con una ecuación de regresión para esta variable dependiente igual a producción de forraje verde =  $6,73 + 0,65 (\text{NCV}) - 0,01 (\text{NCV})^2$ , lo que refleja que a medida que incrementa el nivel de carbón vegetal como restaurador ecológico del suelo, desde el 10 hasta los 20 T/ha, la producción de forraje verde inicialmente también aumenta en 0,65 T/ha, para posteriormente empezar a disminuir en 0,01 T/ha./corte por cada unidad de cambio de la variable independiente, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ), de 71,26 % por parte del nivel de carbón vegetal, en tanto que el 28,74% restante depende de otros factores no considerados en la investigación como son las condiciones ambientales imperantes en la época de producción del *Medicago sativa* (alfalfa). Además el coeficiente de correlación al que es de  $r = 0,79$ ; manifiesta un grado de asociación positiva altamente significativa.

Al respecto Aragadvay, R. (2010), al aplicar un tratamiento de 700 g/ha *Rhizobium meliloti* más estiércol de cuy menciona una producción de forraje en materia verde de 10,54 t/ha./corte de alfalfa; Chávez, E. (2010), con un tratamiento de 300 L más 5 t/ha, de humus da a conocer una producción de 9,60 t/ha./corte, estas producciones resultan inferiores a los obtenidos en la presente investigación, y que se debe principalmente a que la aplicación de carbón vegetal tiene como función principal producir carbón biológico a gran

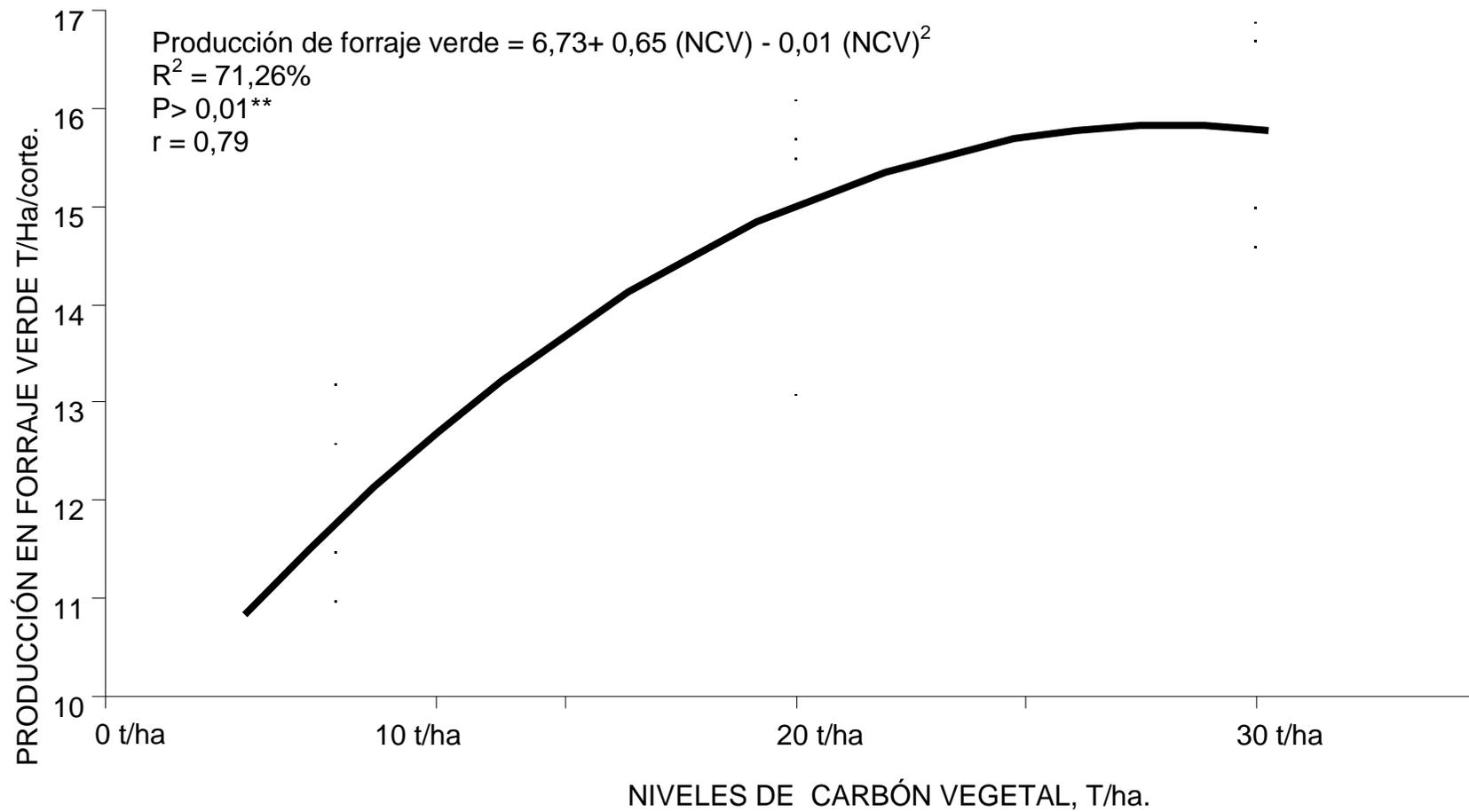


Gráfico 9. Regresión de la Producción de forraje en materia verde de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 t/ha,) de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

escala para capturar y almacenar grandes cantidades de CO<sub>2</sub> en la tierra, aumentando a la vez la fertilidad y el grosor del suelo, y por ende el contenido de nutrientes, que se tornaron más disponibles para las plantas.

## **6. Producción de materia seca**

La evaluación del rendimiento en materia seca, de la alfalfa, al primer corte registró diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ), en todos los tratamientos evaluados, identificándose por lo tanto que la mejor producción corresponde a las parcelas del tratamiento T3 (30 t/ha.), cuya producción fue de 33,38 t/MS/ha/año, seguida por las parcelas del tratamiento T2, con 30,80 t/MS/ha/año; y que compartieron rangos de significancia con el tratamiento T3, mientras tanto que los resultados más bajos fueron reportados en las parcelas del tratamiento T1 con 26,92 t/MS/ha/año, como se ilustra en el gráfico 10.

Respuestas que indican que mayores niveles de carbón vegetal en el suelo provocan el incremento de la producción en materia seca de la alfalfa en el primer corte y esto se debe a lo señalado en <http://www.bioteconologia.com>. (2007), donde indica que los abonos orgánicos son sustancias muy especiales y beneficiosas para el suelo y para las plantas, por cuanto aporta lentamente nutrientes minerales para las plantas a medida que se descompone, a la vez que produce activadores del crecimiento que las plantas pueden absorber y favorecen la nutrición y resistencia, elevándose consecuentemente la producción de materia seca.

En la investigación de Andrade, J. (2010), al utilizar fertilizantes químicos en forma foliar obtuvo un rendimiento de materia seca de 34,65 T/ha/año, que son inferiores a los reportes de la presente investigación, pero que a su vez son superiores a los enunciados por Garcés, S. (2011), quien al utilizar 5 T/ha, de abono orgánico sólido potenciado con trichoderma, registró medias de 2,55 T/ha,/corte y que consideró 8 cortes al año en promedio; así como también Gambaudo, S. (1991), en el estudio de la respuesta de la alfalfa a la utilización

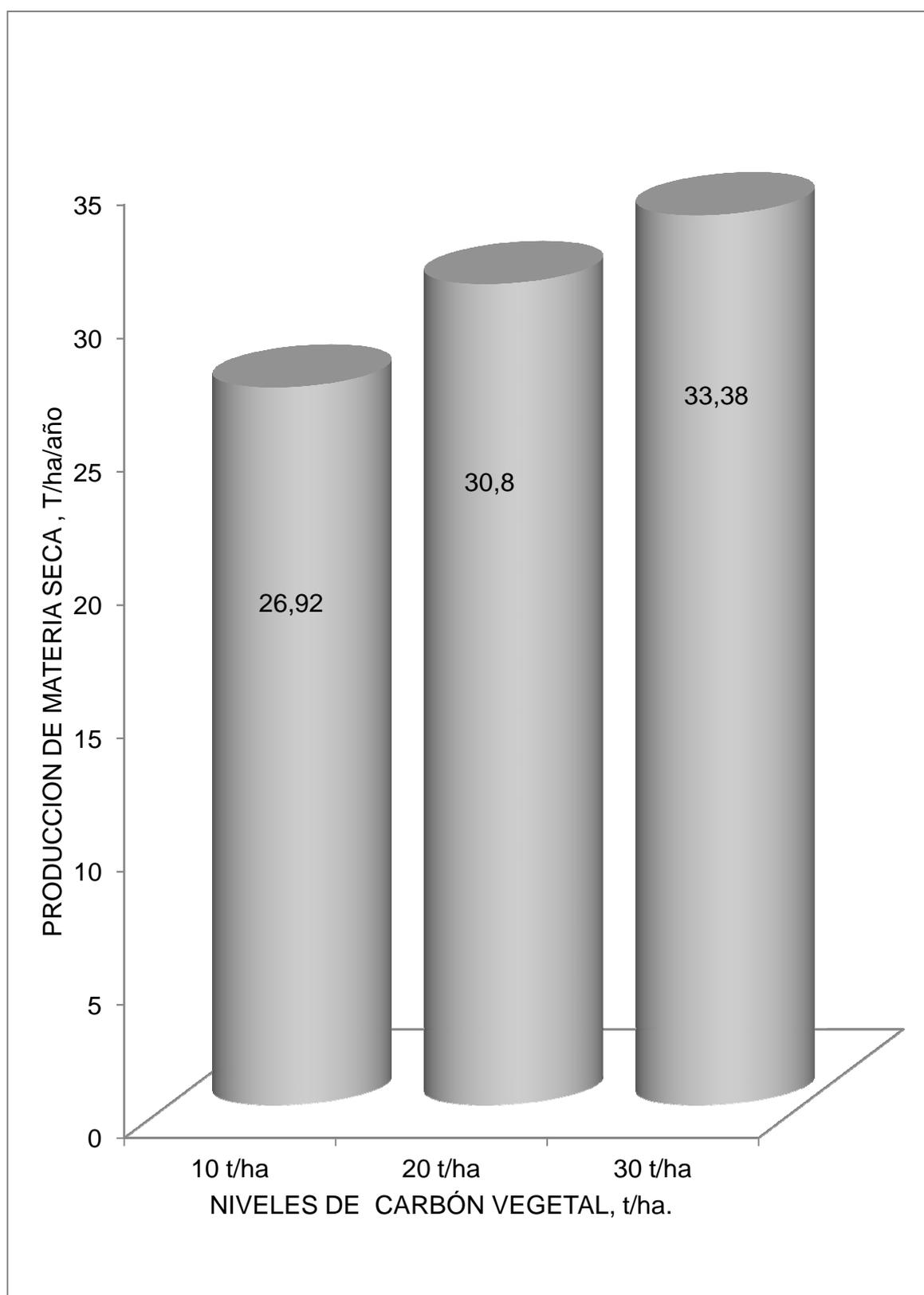


Gráfico 10. Producción de forraje en materia seca de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

de dos enmiendas calcáreas como la conchilla obtiene una producción de materia seca en el primer corte de 2.53 t/ha./corte. Aragadvay, R. (2010), al biofertilizar la parcela de alfalfa con 250 g/ha, de *Rhizobium meliloti*, obtiene producciones de 1,70 t/ha./corte. Los resultados de la presente investigación demuestran supremacía debido a que el carbón vegetal actúa como retenedor de humedad, que es muy importante en los actuales momentos en que existe tiempos de sequía prolongada.

En el análisis de regresión que se ilustra en el gráfico 11, se obtiene una tendencia lineal positiva altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ), en la que se infiere que a medida que se incrementa el nivel de carbón vegetal en el suelo para producir alfalfa, la producción de materia seca también se incrementa, existiendo entre estas dos variables una determinación alta que corresponde al 58,54% y una relación positiva altamente significativa ya que el coeficiente correlacional fue de 0,76. la ecuación de regresión utilizada fue.

Producción de materia seca =  $23,91 + 0,32$  (NCV).

## **7. Número de hojas por tallo**

El número de hojas tallo encontrados en la alfalfa, presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ( $P > 0,01$ ), por efecto de las dosis de carbón vegetal, reportándose que una mayor respuesta en las plantas que recibieron 30 t/ha, de carbón vegetal (T3), con 103,45 hoja/tallo, seguida de las respuestas obtenidas en las plantas con 10 t/ha, (T1), con 98,10 hojas/tallo; como se ilustra en el gráfico 12, mientras tanto que los resultados ms bajos fueron reportados en las plantas a las que se aplicó 20 t/ha (T2), con 93,68 hojas/tallo, Valores que son superiores a las respuestas obtenidas por Chacón, D (2011), quien reportó el mayor número de tallos en las plantas de alfalfa, que recibieron 200 l/ha, de abono foliar Biol, con una media de 22.83 tallos/planta, así como también los se Garcés, S. (2011), estableció el mayor número de hojas por tallo para el tratamiento con 5 T/ha, de abono orgánico potencializado con triconderma con 52.33 hojas/tallo.

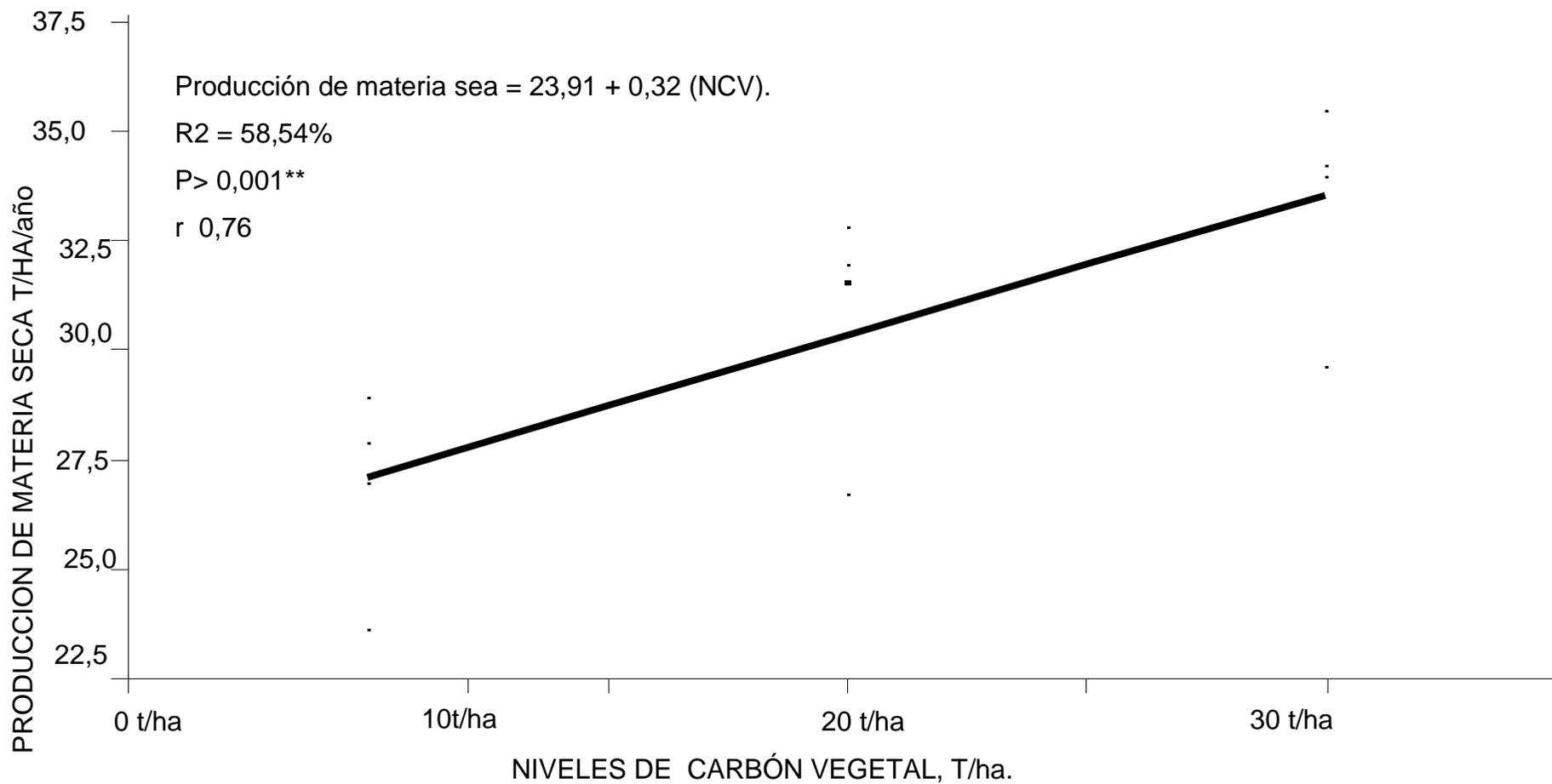


Gráfico 11. Regresión de la producción de forraje en materia seca de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha,) de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

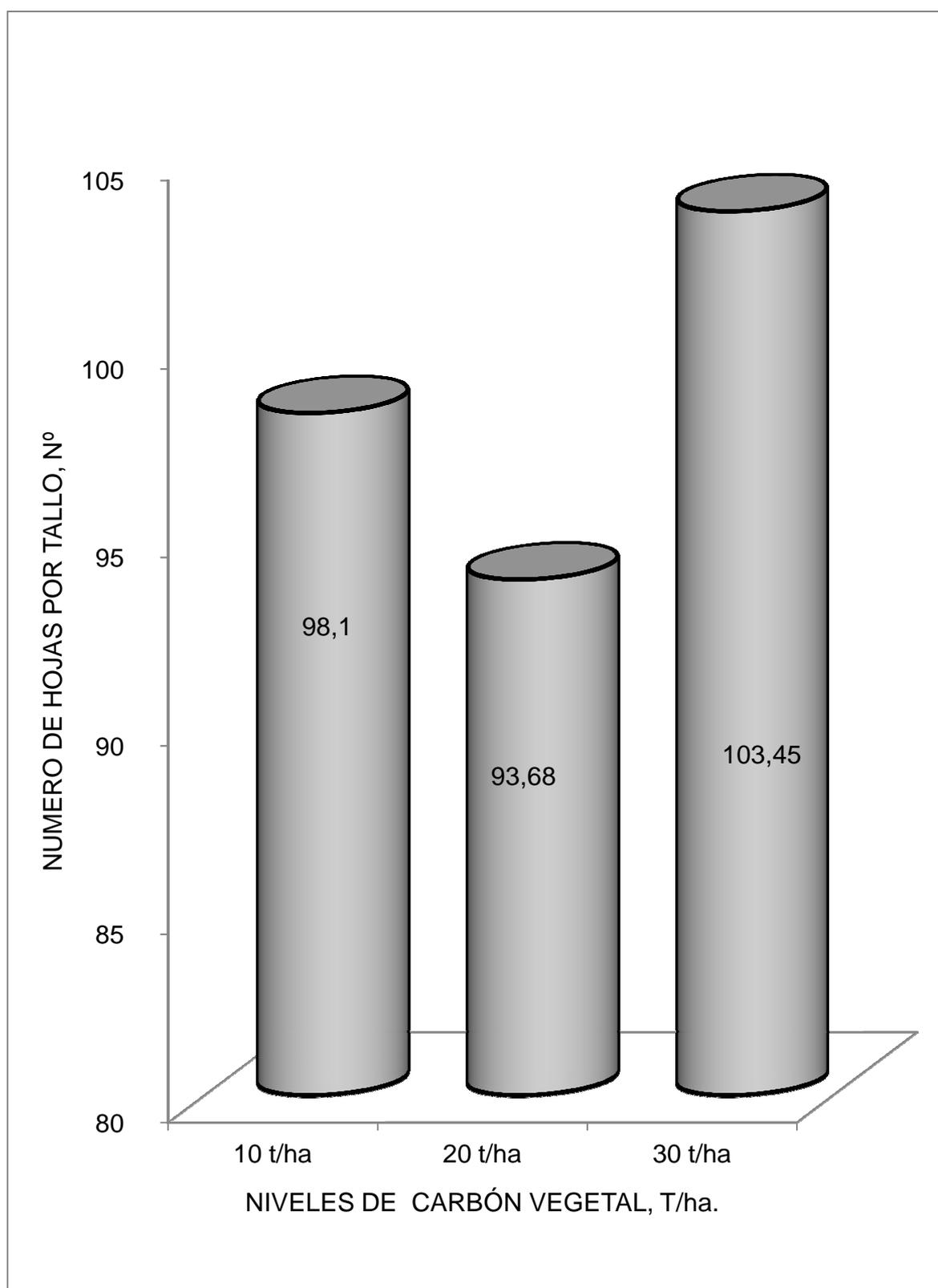


Gráfico 12. Número de hojas por tallo, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha,) de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

Los resultados alcanzados en la producción de la alfalfa permiten estimar que las mejores respuestas se consiguen al fertilizar el suelo con 30 T/ha, de carbón vegetal y que es corroborado con lo que manifiesta Pnuma, W. (2001), quien indica que el carbón vegetal es un carbón ecológico, sólido, estable y excelente para corregir y potenciar suelos ácidos y de poca fertilidad, agregar carbón vegetal al suelo, se ha propuesto como una estrategia de 'mitigación del cambio climático y como una forma de regenerar tierras degradadas. Se dice incluso que con ello se podría secuestrar carbono, revirtiendo todo el calentamiento global causado por la combustión de combustibles fósiles y por la destrucción de ecosistemas, que es una técnica usada durante siglos, limpia, viable y compatible con otros beneficios a gran escala, tales como el enriquecimiento de los suelos en lugar de su desestabilización, algo que ocurre con otras técnicas más costosas de captura y secuestro de carbón. El carbón vegetal almacena más de tres veces su peso en CO<sub>2</sub>, procedente de la atmósfera, contribuyendo a la reducción neta de los gases de efecto invernadero, aumentando a la vez la fertilidad y el grosor del suelo, lo que va en beneficio de la producción forrajera de la alfalfa, ya que es una especie que es valorada por la cantidad y calidad de hojas que produzca ya que es destinada a la alimentación animal.

El análisis de regresión del número de hojas por tallo de la alfalfa que se ilustra en el gráfico 13, define a una tendencia de carácter cuadrático en la que se indica que inicialmente el número de hojas tallo decrece al aplicar 20 T/ha, de bokashi para posteriormente inicial un acenso al incluir mayores niveles de carbón vegetal; con un coeficiente de determinación  $R^2 = 51,45\%$ ; mientras tanto que el 48,55% restante depende de otros factores no considerados en la presente investigación y que posiblemente tienen que ver con el contenido del resto de minerales presentes en el suelo, además el coeficiente de correlación que es de  $r = 0,39$ ; señala una relación positiva media entre el número de tallo por planta y los diferentes niveles de carbón vegetal; la ecuación de regresión cuadrática fue.

$$\text{Número de hojas por tallo} = 116,73 - 2,57 (\text{NCV}) + 0,07 (\text{NCV})^2.$$

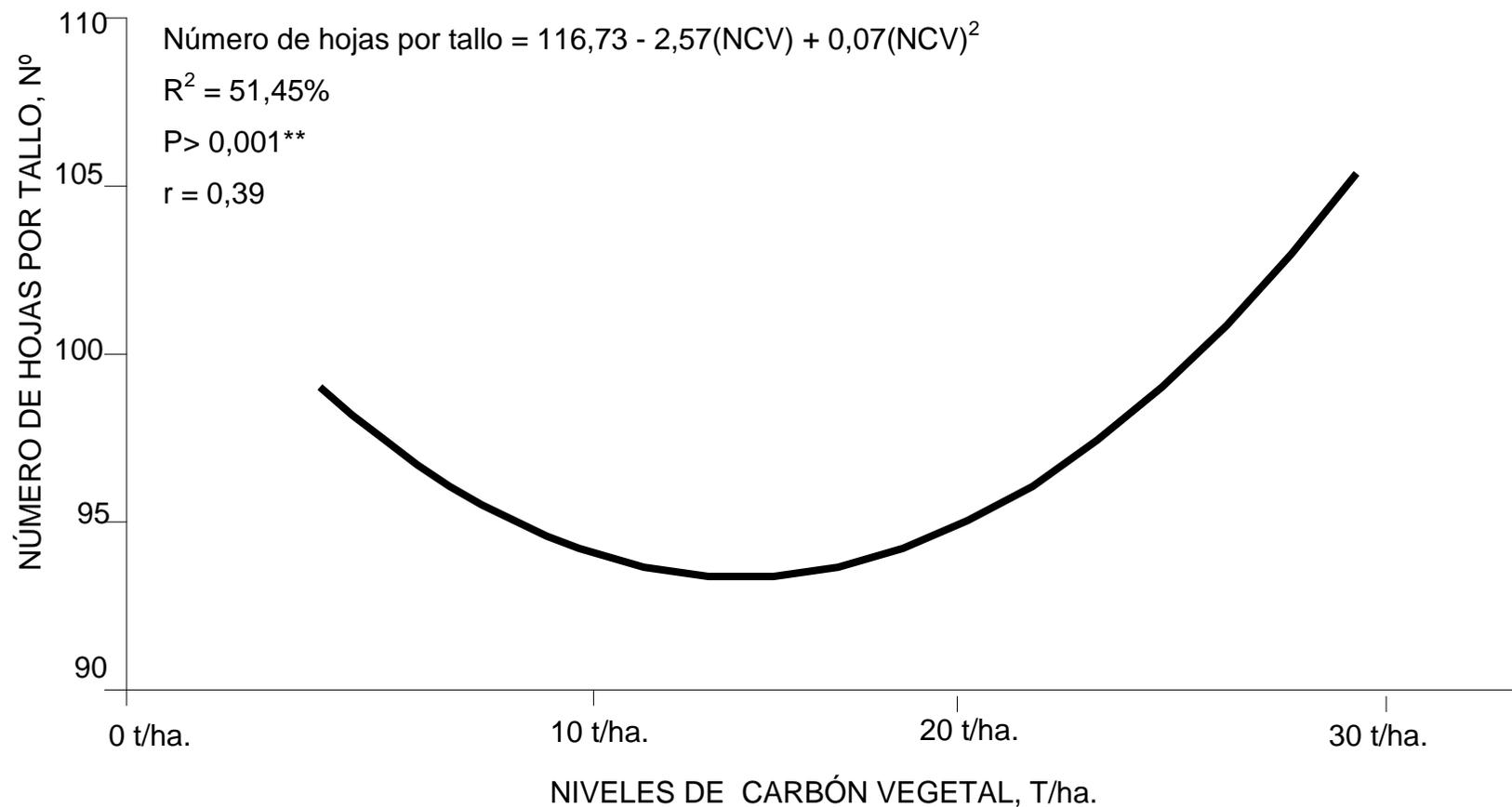


Gráfico 13. Regresión del número de hojas por tallo, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 t/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

## **8. Número de tallos por planta**

El análisis de varianza del número de tallos por planta, no presentaron diferencias estadísticas ( $P > 0,05$ ), por efecto de los diferentes niveles de carbón vegetal evaluados, como se ilustra en gráfico 14, encontrándose sin embargo de carácter numérico las respuestas más altas en las parcelas del tratamiento T1, con 47,40 tallo/planta y que desciende a 44,73 tallos/planta en las parcelas del tratamiento T2; mientras tanto que las respuestas más bajas fueron registrados en las plantas del tratamiento T3, con 40,60 tallo/planta. De acuerdo a los reportes analizados se afirma que niveles más bajos de carbón vegetal producen el mayor número de tallos por planta.

Lo que es corroborado según <http://www.faircompanies.com>.(2013), donde se indica que el carbón biológico, conocido como carbón vegetal, consiste en secuestrar carbono con beneficios, tales como el enriquecimiento de los suelos en lugar de su desestabilización, algo que ocurre con otras técnicas más costosas de captura y secuestro de carbono. El proceso almacena carbono en el suelo, consigue una reducción significativa de otros gases con efecto invernadero mejora la calidad del agua, aumenta la fertilidad del suelo y la productividad agraria, además de reducir la presión sobre los bosques primarios, evitando la deforestación en las zonas más pobres, por lo que mejora el desarrollo de la planta, especialmente en la producción de un mayor número de tallos por planta.

## **B. COMPORTAMIENTO AGROBOTÁNICO DE LA ALFALFA (*Medicago sativa*), EN EL SEGUNDO CORTE BAJO EL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES DOSIS DE CARBÓN VEGETAL, COMO RESTAURADOR ECOLÓGICO DEL SUELO**

### **1. Tiempo de ocurrencia a la prefloración**

Los días de ocurrencia a la prefloración que se reporta en el cuadro 9, en la *Medicago sativa*, (alfalfa), al utilizar diferentes dosis de carbón vegetal

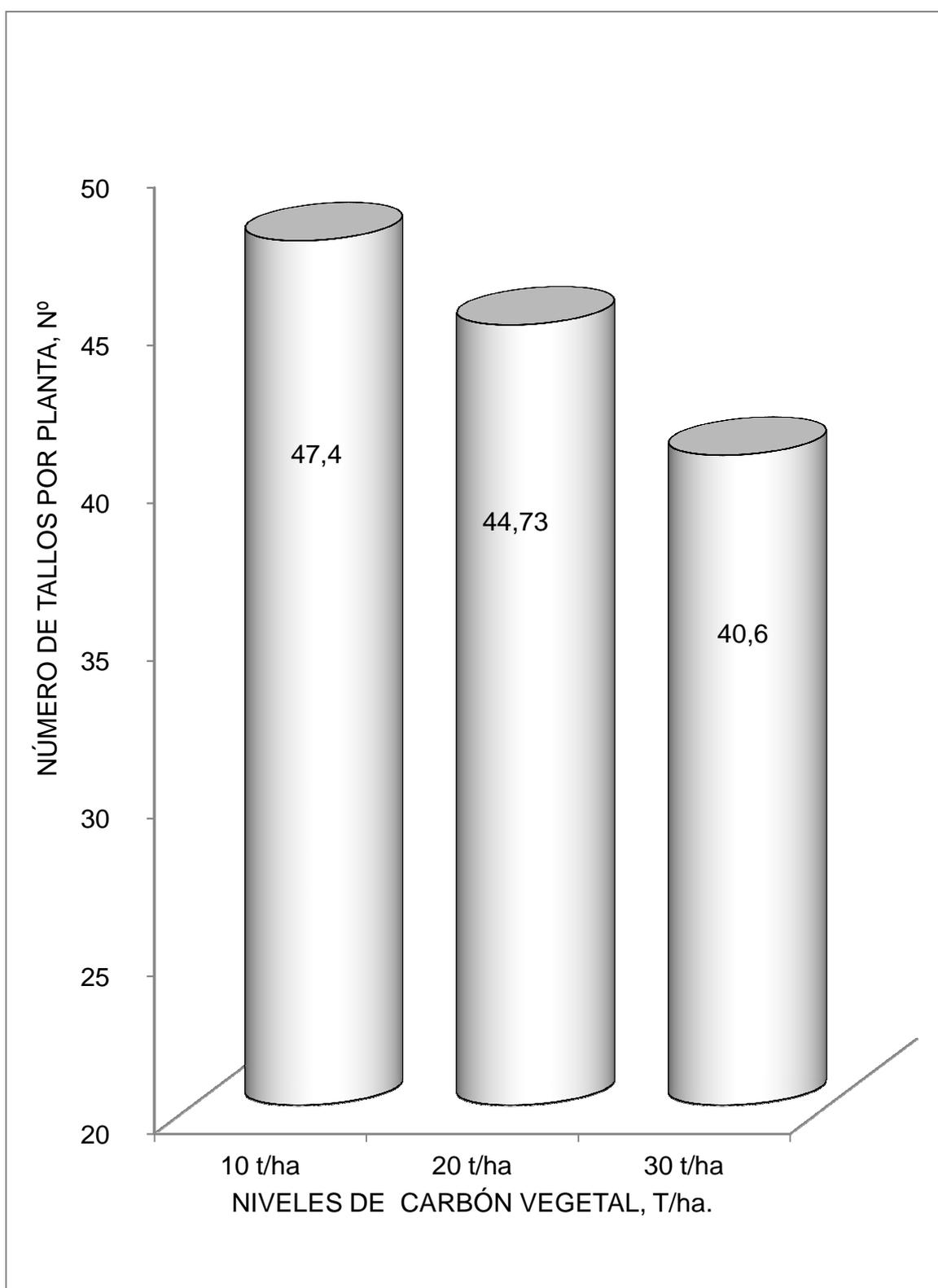


Gráfico 14. Número de tallos por planta, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el primer corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 t/ha,) de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

Cuadro 9. COMPORTAMIENTO AGROBOTÁNICO DE LA ALFALFA (*Medicago sativa*), EN EL SEGUNDO CORTE BAJO EL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES DOSIS DE CARBÓN VEGETAL, COMO RESTAURADOR ECOLÓGICO DEL SUELO.

VARIABLE	NIVELES DE CARBÓN VEGETAL, t/ha,			EE.	Prob
	10 t/ha, T1	20 t/ha, T2	30 t/ha, 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 de forraje verde t/ha,/ corte.	12,06 b	15,61 a	15,92 a	0,59	0,01
Producción de materia seca t/ha,/año.	26,12 b	32,40 a	33,70 a	1,19	0,01
Número de tallos/ planta, unidades.	40,00 a	44,75 a	45,00 a	1,65	0,13
Número de hojas/tallo, unidades.	97,00 b	102,50 ab	111,00 a	2,55	0,02

Fuente: Cortez, M. (2013).

EE: Error estándar.

Prob: probabilidad.

como restaurador ecológico del suelo registraron diferencias estadísticas altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ), observándose por lo tanto las respuestas más altas al aplicar 10 t/ha, de carbón vegetal (T1); con 44,75 días y que desciende a 41,50 días, al utilizar como restaurador del suelo 30 t/ha, de carbón vegetal (T3); mientras tanto que las respuestas más bajas fueron registradas con la aplicación de 20 t/ha, de carbón vegetal, (T2), con 41 días, como se ilustra en el gráfico 15. Los días de ocurrencia a la prefloración son menores en relación al primer corte esto se debe a lo indicado en <http://www.happyflower.com>.(2009), 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, estos actúan más lentamente su efecto es más duradero y pueden aplicarse más frecuentemente pues no tienen secuelas perjudiciales, así mismo, sus efectos benéficos se reflejan en un aparecimiento más temprano del 10% de la floración, ya que los abonos orgánicos al restaurar el suelo propician a una mayor circulación de nutrientes, que al penetrar las raíces de la planta se capture una mayor cantidad especialmente el nitrógeno que favorece a que la floración ocurre en un tiempo más corto.

Valores que son inferiores a los de Garcés, S. (2011), quien registra en el *Medicago sativa*, del segundo corte, reportó con la aplicación de 5 T/ha, de abono orgánico sólido potenciado con Tricorderma, medias de 41.33 días. Así como también de Chávez, E. (2010), en la aplicación de un enraizador comercial logra un aparecimiento de esta etapa de 42.30 días, Aragadvay, R. (2010), en el segundo corte al hacer uso de 500 g/ha *Rhizobium meliloti* + 20 T/ha, estiércol de cuy determina la prefloración de 42.67 días. Espín, R. (2011), quien al utilizar 750 gramos por hectárea de agrohormonas (AGH750), reporta medias de 40.25 días, y Chacón, D. (2011), en el segundo corte al evaluar diferentes niveles de abono foliar biol reporta el Tiempo de ocurrencia a la prefloración 41,86 días. Respuestas que son superiores debido principalmente a que el carbón vegetal presente en el suelo permitió un balance dinámico entre la absorción del material vegetal muerto y la mineralización de la materia orgánica para elevar los nutrientes del suelo y disminuir el Tiempo de ocurrencia a la prefloración .

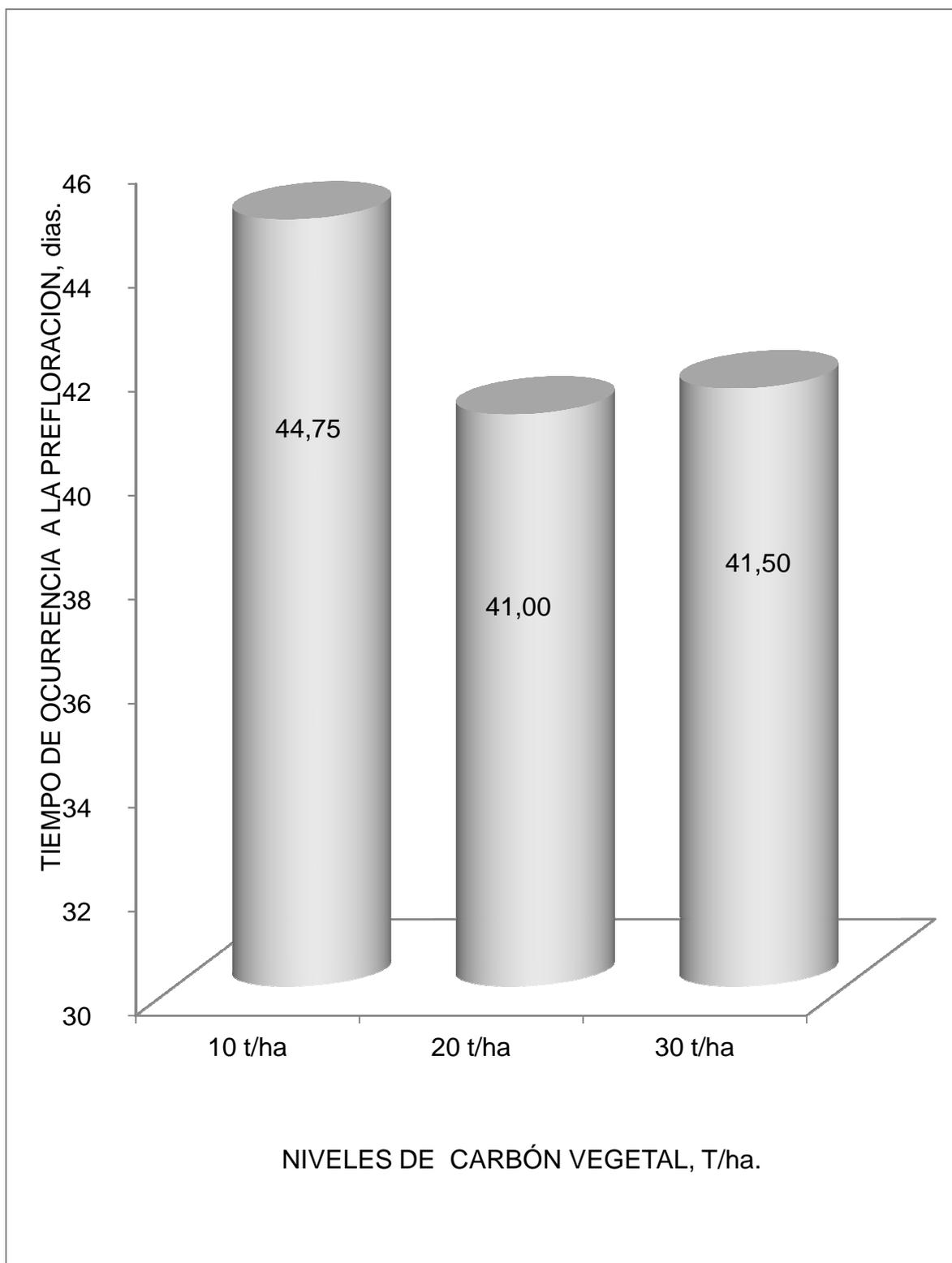


Gráfico 15. Tiempo de ocurrencia a la prefloración, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

En el análisis de la regresión se indica una tendencia cuadrática altamente significativa ( $P \leq 0.01$ ), es decir que al incrementar en la fertilización de 10 a 20 T/ha, el carbón vegetal el Tiempo de ocurrencia a la prefloración se reduce en 1,01 días, para posteriormente ascender en 0,02 días; al incluir en la fertilización mayores niveles, además se da una determinación ( $R^2$ ), alta de esta variable con los niveles utilizados de carbón vegetal que corresponde a 58,27% como se ilustra en el gráfico 16, como también un coeficiente de correlación ( $r$ ), negativo alto de 0,61. La ecuación de regresión utilizada fue.

Tiempo de ocurrencia a la prefloración =  $52,75 - 1,01(\text{NCV}) + 0,02 (\text{NCV})^2$ .

## **2. Porcentaje de cobertura basal**

Las coberturas basales de las plantas de alfalfa, en el segundo corte no presentaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ), por el efecto de la aplicación de diferentes niveles de carbón vegetal (carbón vegetal), sin embargo de carácter numérico se encontró la mayor cobertura basal que fue de 39,70% al emplearse 10 T/ha, de carbón vegetal (T1), como se ilustra en el gráfico 17, seguidas del empleo de 30 T/ha, de carbón vegetal (T3), que registraron una cobertura basal de 39,45%, en tanto que en las plantas del tratamiento T2 (20 T/ha.), se establecieron las coberturas más bajas de 37,40%, y que es un indicativo de que la dosis más indicada para restaurar el suelo donde se cultiva la alfalfa fue de 10 T/ha, de carbón vegetal para conseguir una mayor cobertura basal.

Lo que es corroborado con las apreciaciones de Pnuma, W. (2001), quien 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. Con frecuencia, la pradera que requiere restauración se ha degradado, dañado, transformado o totalmente destruido como resultado directo o indirecto de las actividades del hombre, especialmente la fertilización química, la cual es reemplazada por fertilización orgánica como es el carbón vegetal que tiene como objetivo complementar la nutrición de las plantas para asegurar un mayor rendimiento productivo incrementando también

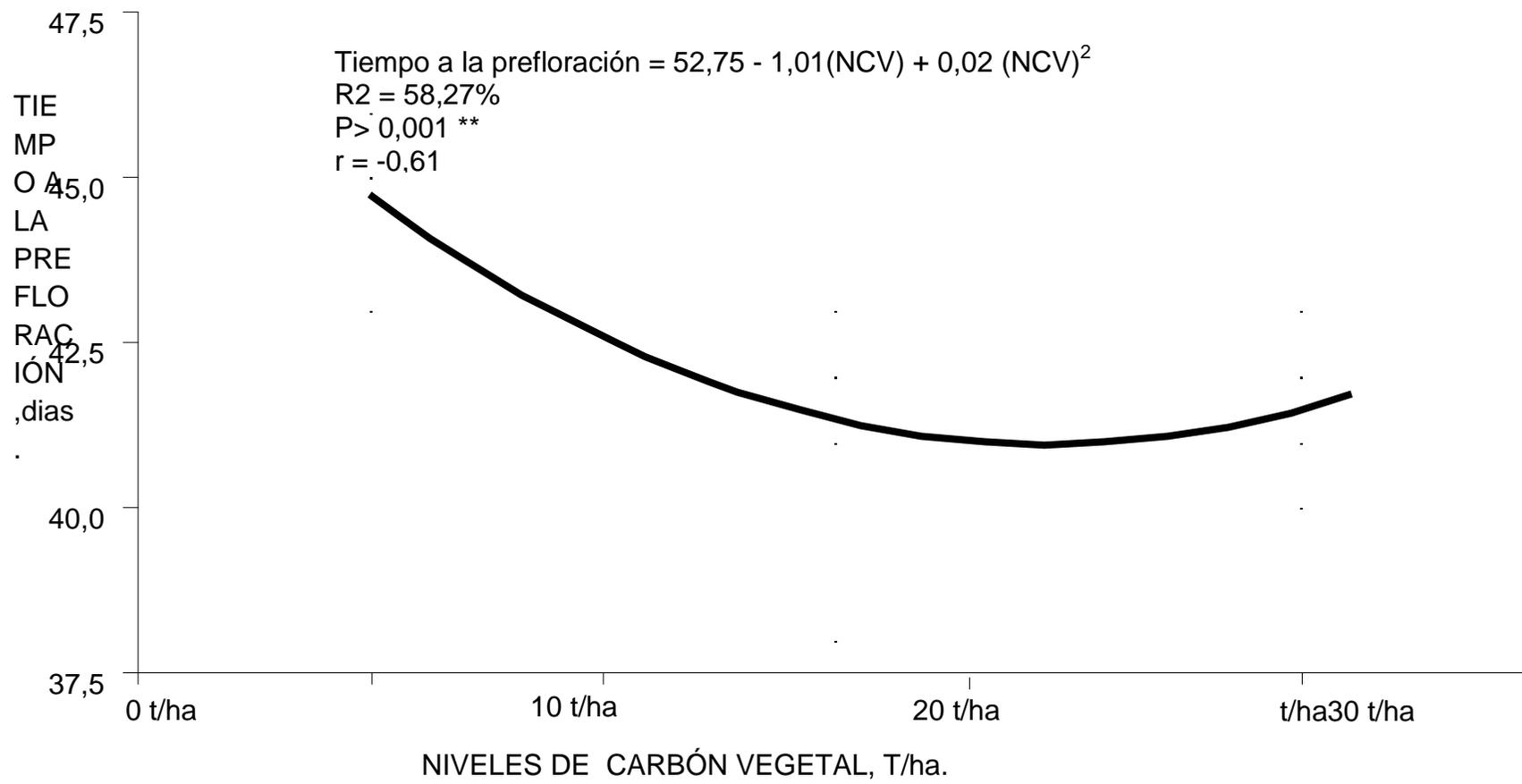


Gráfico 16. Regresión del Tiempo de ocurrencia a la prefloración, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

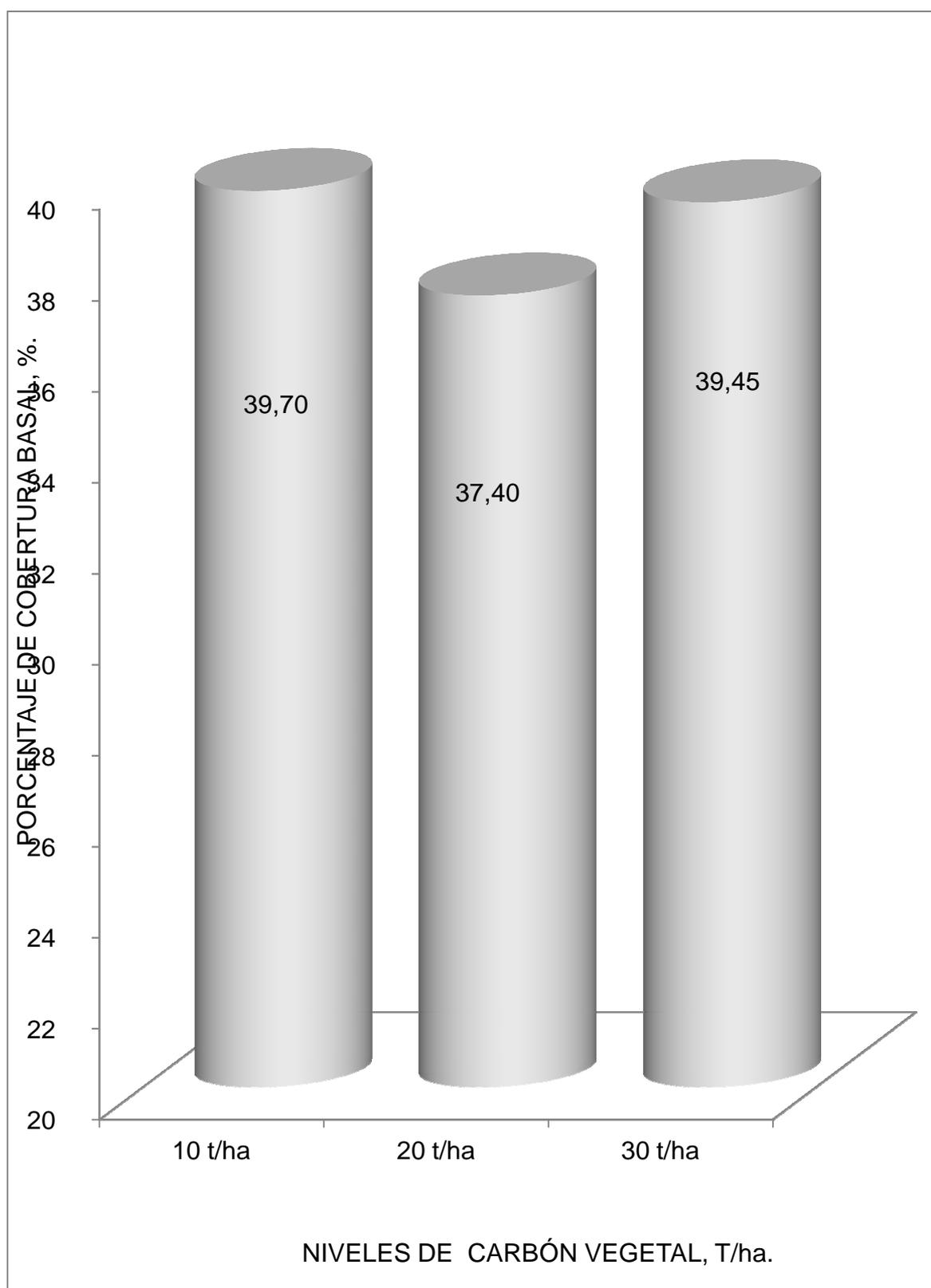


Gráfico 17. Porcentaje de cobertura basal, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

la calidad de los cultivos, además aumenta la tolerancia a condiciones climáticas adversas como heladas, granizadas, es decir proporciona un efecto estimulante y positivo en el ancho del follaje por lo que se puede certificar que la aplicación del carbón vegetal según <http://www.emisom.com>. (2006), posee en su estructura elementos nutritivos como nitrógeno, fósforo y potasio como macroelementos básicos indispensables en la producción forrajera de esta manera se a demostrando que la incorporación de materia orgánica se refleja en el rendimiento forrajero de la alfalfa.

Respuestas que son superiores a las manifestadas por Chacón, D. (2011), quien al evaluar la producción forrajera del *Medicago sativa*, indica que de acuerdo a los cortes considerados, las respuestas de cobertura basal no fueron diferentes estadísticamente ( $P > 0.05$ ), por cuanto se determinó que la alfalfa en el primer corte presentó una cobertura basal de 24.17%, y en el segundo corte fue de 24.85%, Bayas, A. (2003), describe una cobertura basal en el segundo corte de 21.56% empleando te de estiércol, y que se debe a que al incorporar carbón al suelo se incrementan la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en así como la resistencia contra la erosión, recordando que la materia orgánica del suelo también mejora la dinámica y la biodisponibilidad de los principales nutrientes de las plantas.

### **3. Porcentaje de cobertura aérea**

En el análisis de varianza de la cobertura aérea de la alfalfa, en el segundo corte se determinó diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ), por efecto de los diferentes niveles de carbón vegetal aplicados, determinándose las respuestas más altas con el empleo de 30 T/ha, de carbón vegetal (T3), con 86,55%; y que desciende a 85,40%, al fertilizar la pradera con 20 T/ha, de carbón vegetal; mientras tanto que la cobertura basal más baja fue reportada en las parcelas fertilizadas con menores proporciones de carbón vegetal es decir 10 T/ha, (T1), con 79,31%, como se ilustra en el gráfico 18. Respuestas que según <http://www.monografias.com>.(2013), pueden deberse a que es necesario suministrar a las plantas los elementos que precisen para completar su nutrición,

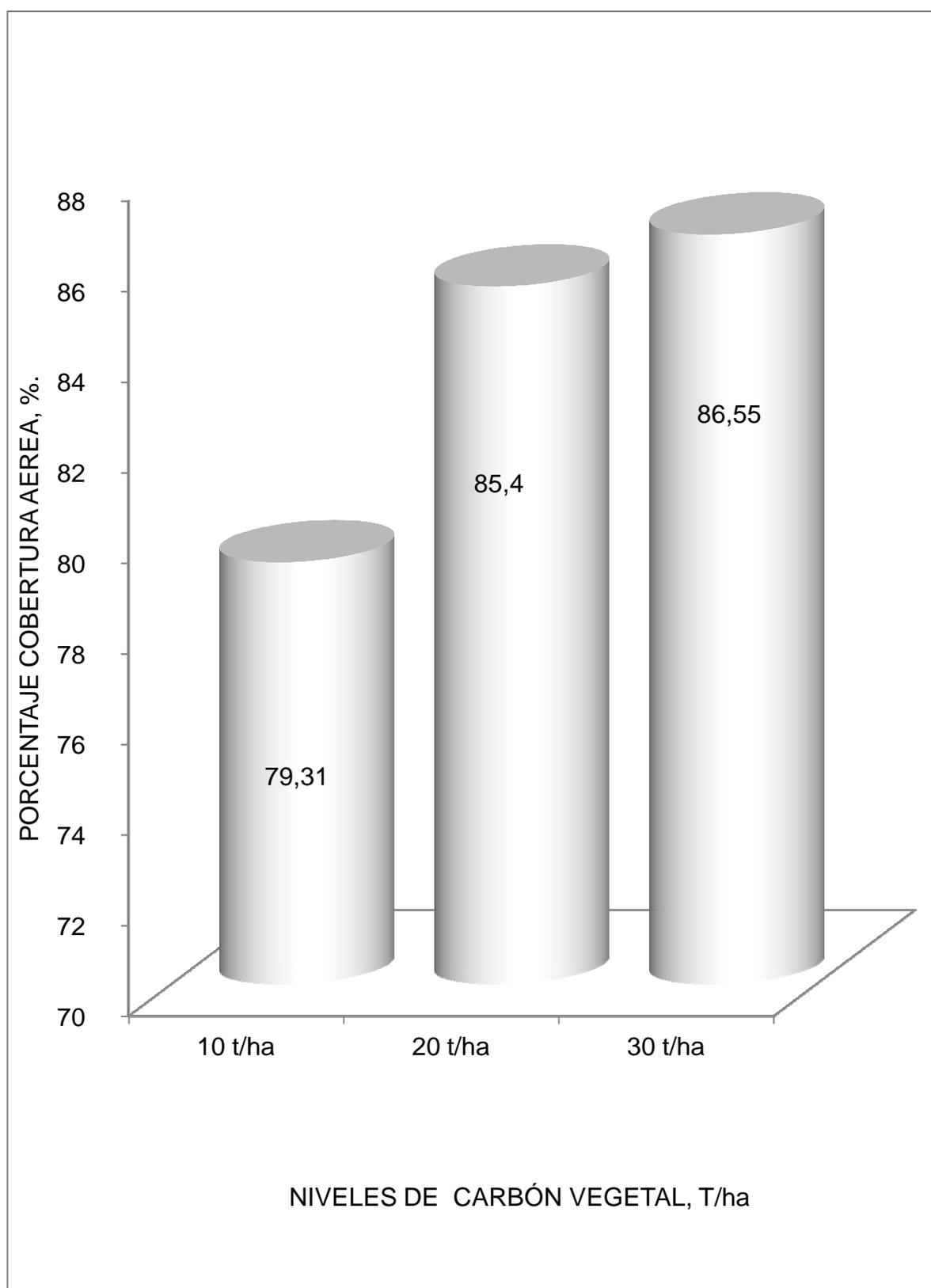


Gráfico 18. Porcentaje de cobertura aérea, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha,) de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

los mismos que deben estar por supuesto, en forma asimilable y en cantidad apreciable, es así que los fertilizantes orgánicos restituyen los niveles de materia orgánica del suelo y con esto se incrementa la capacidad para retener los nutrientes minerales que se aplican a los suelos. El principal beneficio de los abonos orgánicos es la nutrición de las plantas, este proceso tiene notable importancia porque permite la vida de las plantas en determinadas condiciones y facilita la toma de los alimentos por parte de las plantas superiores, en competencia con la infinita y mucho más adaptable microflora del suelo, para el desarrollo de la cobertura aérea influyen otros factores como los son la cantidad de luz interceptada por el follaje, distribución de la luz en la planta y eficiencia fotosintética de las hojas.

En las investigaciones realizadas por Rojas, C. (2011), quien al evaluar una mezcla forrajera formada por alfalfa (*Medicago sativa*), más *Lolium perenne* aplicando una dosis de 5 T/ha, de biol reporta un valor del 100%, mientras Tenorio, C. (2011), en el segundo corte indica al utilizar en las parcelas un tratamiento de 2 kg/ha *Rhizobium meliloti* más vermicompost señala una cobertura aérea de 100%, estos valores resultan superiores en comparación a los investigados de modo que en el primer ensayo se trata de una mezcla forrajera la cual está formada por dos especies aumentando el área foliar, así como al aplicar biofertilizantes como *Rhizobium melilot*, restituyen mejor los niveles de materia orgánica del suelo y con esto se incrementa la capacidad para retener los nutrientes minerales que se aplican. Chacón, D. (2011); al considerar el efecto de los cortes evaluados, las respuestas de la cobertura aérea en el primer corte fueron de 82.2%, en tanto que en el segundo corte se elevó al 85.46%, lo que puede deberse posiblemente que los nutrientes proporcionados a la planta a través de la fertilización foliar una parte considerable cae al suelo y estos nutrientes a su vez son absorbidos por las raíces, cuyo efecto se demuestra en la siguiente fase productiva (siguiente corte).

Mediante el análisis de regresión para la cobertura aérea en el segundo corte que se ilustra en el gráfico 19, se determinó una tendencia lineal positiva altamente significativa, es decir que por cada unidad de incremento en el nivel de

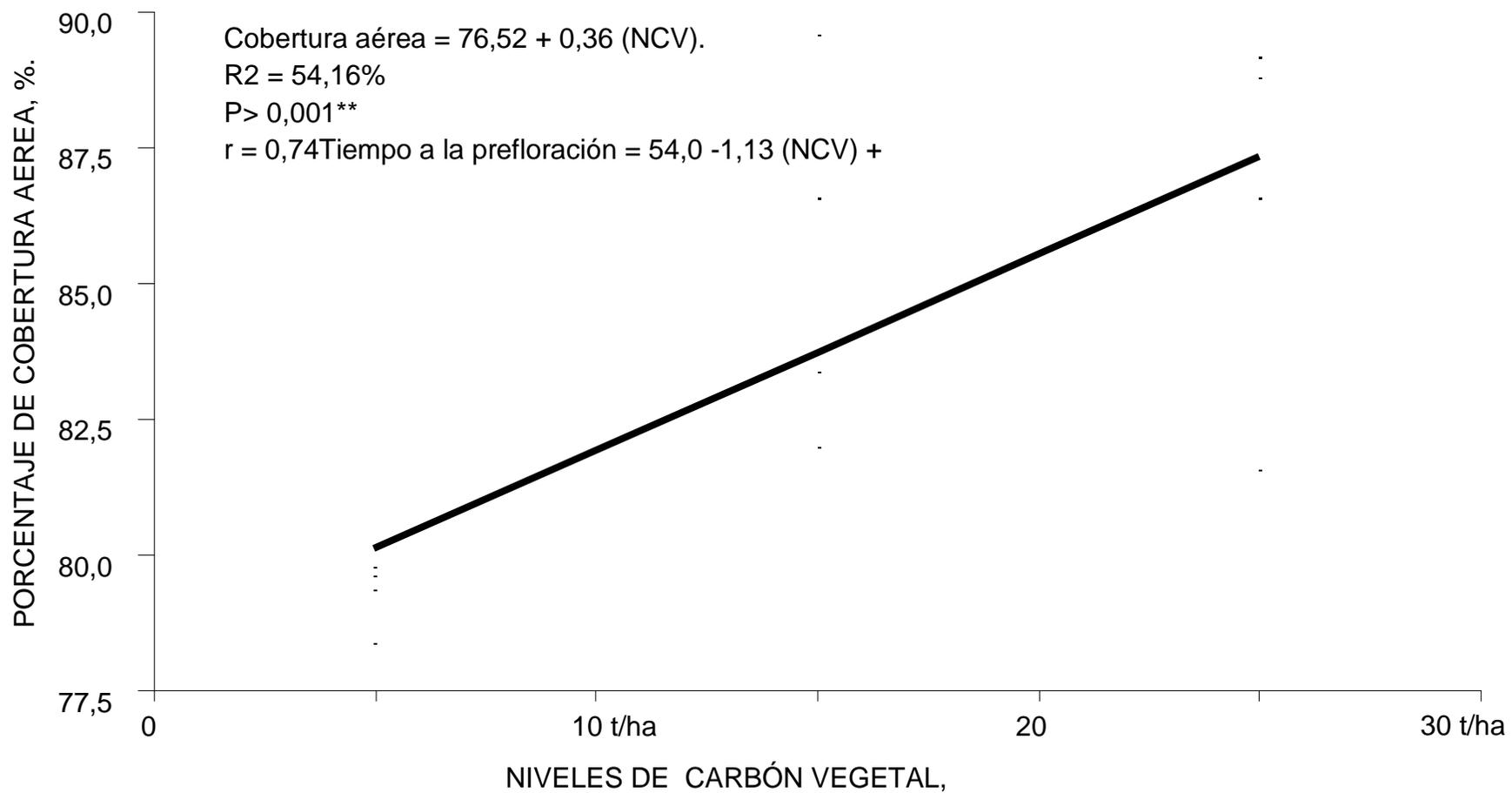


Gráfico 19. Regresión del porcentaje de cobertura aérea, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha,) de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

fertilización orgánica de la alfalfa utilizando carbón vegetal se produce una elevación del 0,36% en la cobertura aérea de la planta; además el valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), fue de 54,16; y el coeficiente correlacional de 0,74; que infiere una relación positiva alta; en la que se manifiesta que a mayor niveles de carbón vegetal mayor porcentaje de cobertura aérea de la alfalfa, la ecuación de regresión determinada fue.

$$\text{Cobertura aérea} = 76,52 + 0,36 (\text{NCV}).$$

#### **4. Altura de la planta**

En el análisis de altura de la planta de alfalfa en el segundo corte que se ilustra en el gráfico 20, se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ), por efecto de los diferentes niveles de carbón vegetal como restaurador ecológico del suelo, determinándose como la mayor altura para el tratamiento T3 (30 T/ha), con 95,42 cm, seguido por el tratamiento con 20 t/ha, (T2); con 88,17 cm, mientras tanto que las alturas más bajas fueron las registradas en las parcelas a las que se fertilizó con 10 t/ha, con 84,00 cm, es decir que mayores niveles de carbón vegetal proporcionan mayores alturas de la alfalfa, como se ilustra en el gráfico 20.

Esto se debe a lo señalado en <http://www.infoagro.com>.(2013), donde informa 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 sobre el desarrollo de la planta en lo que tiene que ver con su altura, de modo que las plantas tendrá mayor facilidad de absorber los distintos elementos nutritivos y sus índices son superiores a las del primer corte debiéndose quizá que conforme se presentan los demás cortes las respuestas productivas se optimizan sustancialmente en todas las fertilizaciones aplicadas, produciéndose además la restauración ecológica de la pradera que es una ciencia emergente con una profunda importancia en conservación biológica. Los esfuerzos que se hacen actualmente en este campo son escasos. Sin embargo, a medida que aumenta el uso de recursos en las

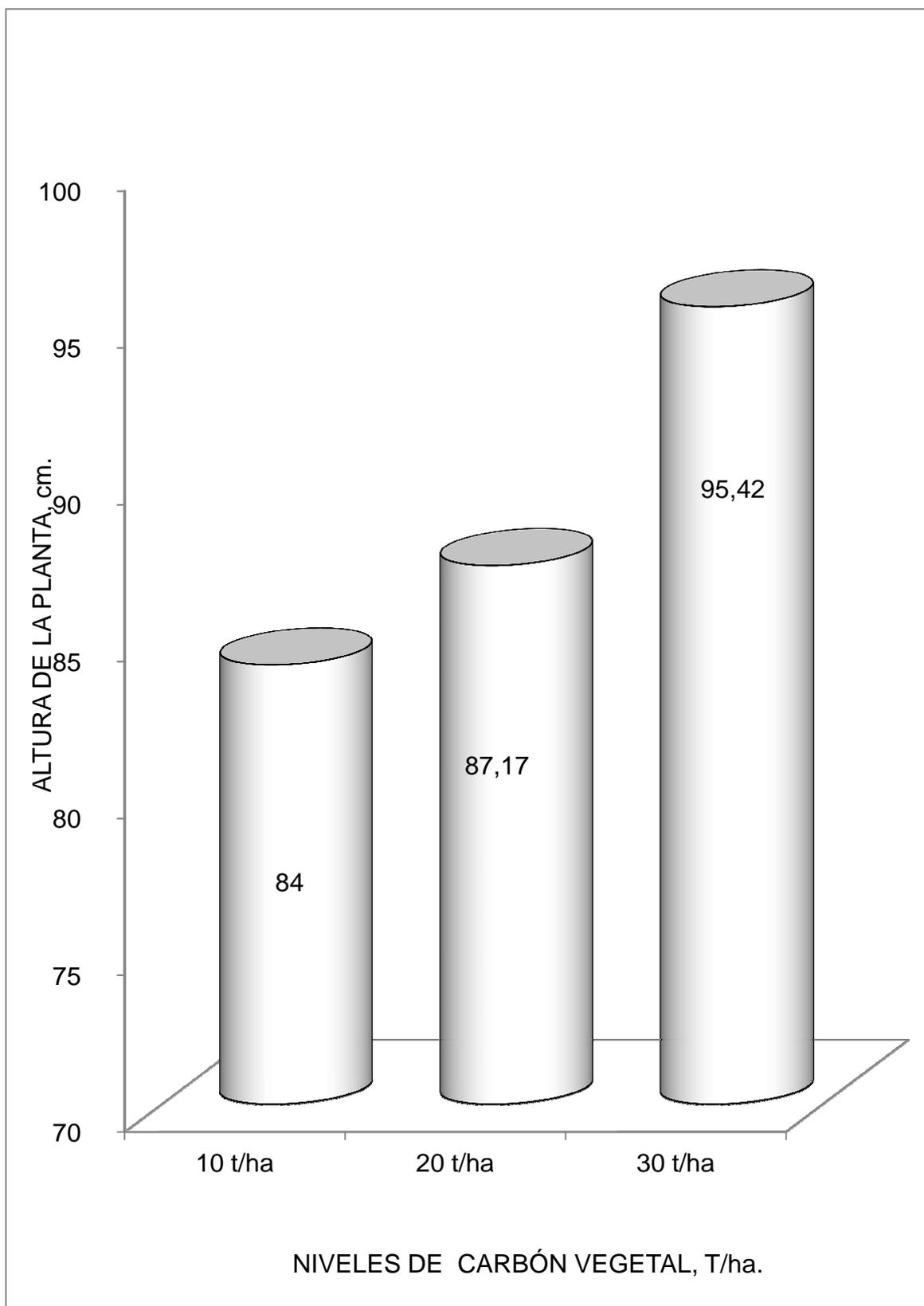


Gráfico 20. Altura de la planta, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha,) de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

diferentes regiones, será más frecuente encontrarse con casos críticos que requieren de restauración ecológica, por ello se crea la necesidad de abonos orgánicos como el carbón vegetal.

Los estudios efectuados por Rojas, C. (2011), en la aplicación de biol indica una altura de la alfalfa de 73.18 cm, Tenorio, C. (2011), al utilizar 2 Kg /ha de *Rhizobium meliloti* más vermicompost logra una altura de 89.58 cm, en las investigaciones de Chávez, E. (2010), menciona en el segundo corte con enraizador comercial en el *Medicago sativa* un promedio de 83.76 cm, así Cordovéz, M. (2010), en la fertilización con bokashi en niveles de 3 T/ha, obtuvo alturas de 85.92 cm, Chacón D. (2011), con respecto al efecto de los cortes de evaluación, reporta las alturas de las plantas de 73.18 cm en el primer corte y de 73.58 cm en el segundo corte. Bayas, A. (2003), quien reporta que con la utilización de bokashi, te de estiércol y biosol como biofertilizantes en la producción de alfalfa, obtuvo alturas de las planta en prefloración de 40.60 cm, 43.14 cm,, 34.71 cm, en su orden, y que son inferiores a los de la presente investigación lo que se debe a que los suelos donde estuvo establecida la alfalfa contenían materia orgánica pero que no estaba bien distribuida al aplicar el carbón vegetal se produce la mineralización de la misma por el efecto de retención de humedad del carbón y son más disponibles para el sistema radicular de la alfalfa.

En el análisis de regresión para la variable altura de la planta en el segundo corte que se ilustra en gráfico 21, se registró una tendencia lineal positiva altamente significativa, en la cual se analiza que partiendo de un intercepto de 77,45 cm; la altura se eleva en 0,57 cm, por cada unidad de cambio en el nivel de fertilizante orgánico carbón vegetal aplicado a la parcela de alfalfa, existe además una correlación positiva alta de (r) 0,80 y un coeficiente de determinación de  $R^2 = 63,43\%$ ; mientras tanto que el 36,57% depende de otros factores no considerados en la presente investigación y que tienen que ver muchas veces con las condiciones climáticas reinantes en la etapa de producción de la planta, la ecuación de regresión aplicada fue.

Altura de la planta = 77,45 + 0,57 (NCV).

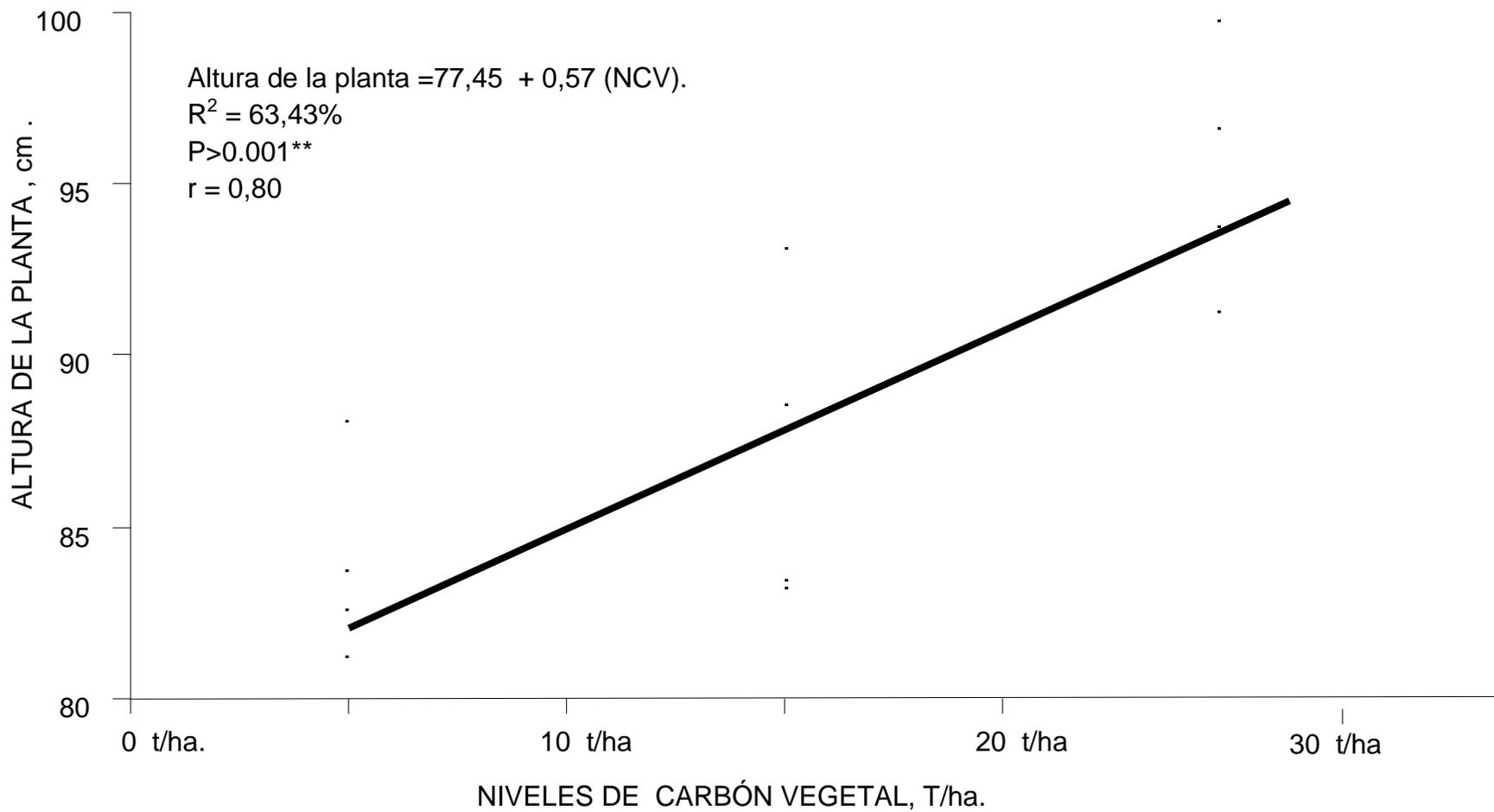


Gráfico 21. Regresión de la altura de la planta, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

## 5. Producción de forraje verde

La cantidad de forraje verde que se ilustra en el gráfico 22, en el estudio de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, registró diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ), por efecto de los diferentes niveles de carbón vegetal como restaurador ecológico del suelo, presentándose como la mejor producción en el tratamiento T3 (30 T/ha.), con 15,92 TFv/Ha/corte, seguido por el tratamiento T2 (20 t/ha.), con 15,61 TFV/ha/corte, para finalmente ubicarse las respuestas de producción de forraje verde del tratamiento T1 (10t/ha.), con 12,06 TFV/ha/corte.

Estas producciones resultan superiores en relación al primer corte quizá se deba a lo referido en <http://www.monografias.com>. (2013), donde informa que para obtener una alta cantidad y calidad de forraje, asociadas con una buena persistencia de la alfalfa, debe usarse una frecuencia de corte que contemple aproximadamente 35 días entre cortes o pastoreos, en lo referente a calidad del forraje, no sólo se debe considerar el contenido de proteína sino también otros parámetros, como porcentajes de hoja, tallo, fibra, lignina, digestibilidad y consumo animal, cortada en estados inmaduros, la alfalfa produce un forraje de mayor calidad pero se reducen significativamente su producción y persistencia, estados muy maduros producen mayor cantidad de forraje pero de menor calidad. Si una fracción suficiente de carbono fuera retenida por el suelo, se evitaría la acumulación de nuevas emisiones.

Es aquí donde entra el carbón vegetal, ya que cualquier materia orgánica que se retire del rápido ciclo de la fotosíntesis y se ponga en el ciclo mucho más lento del carbón vegetal está restando dióxido de carbono de la atmósfera con el propósito de enriquecer la composición del suelo donde es depositado. Los parámetros de calidad de las plantas principalmente crecimiento relativamente rápido y la producción de varias cosechas al año están íntimamente relacionados con los estados de madurez, así como el contenido óptimo de los abonos orgánicos, que son capaces de utilizar el nitrógeno en forma de nitrato o amonio.

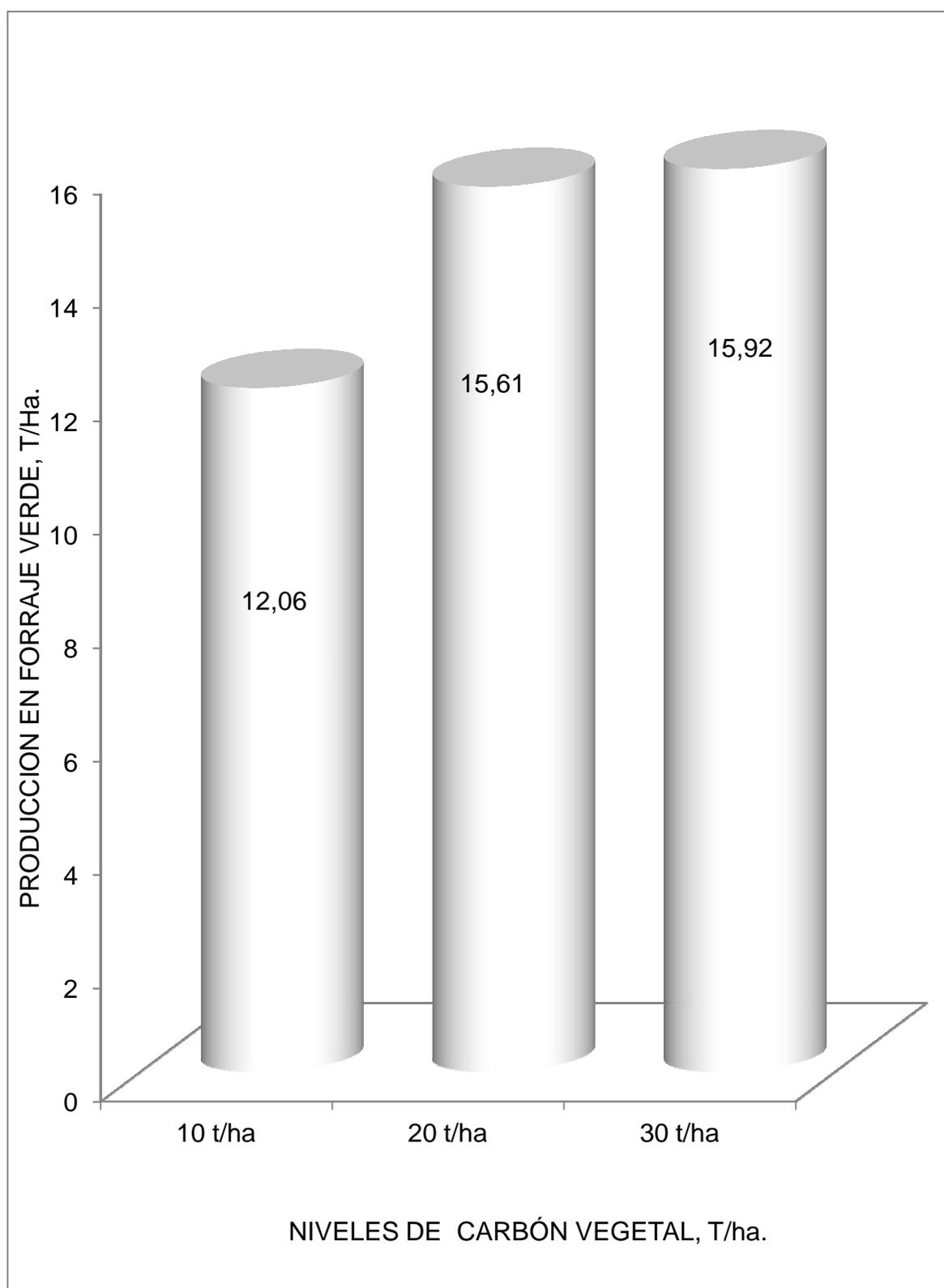


Gráfico 22. Producción en forraje verde, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

Los valores antes reportados son superiores a los establecidos por Espín, R. (2011), quien al realizar la evaluación de diferentes niveles de fertilización foliar agro hormonas en la producción primaria forrajera del *Medicago sativa*, reportó en el tratamiento AGH750 la mayor producción con 13.17 T/ha./corte, Cordovez, M. (2010), al aplicar 7 T/ha, de bokashi logra una producción de forraje verde de 12.00 T/ha, Chávez, E. (2010), al investigar con 300 l/ha, de enraizador más 5 T/ha, de humus obtienen producciones en el segundo corte de 12.93 T/ha./corte, Bayas, A. (2003), en el segundo corte de la alfalfa en la etapa de prefloración utilizando te de estiércol obtienen 13.16 T/ha/corte, lo que se debe a que para la síntesis de compuestos nitrogenados como los aminoácidos, que el carbón vegetal al enriquecer el suelo pueden recuperar la parcela, volviendo a cubrir de vegetación la tierra con especies apropiadas.

Mediante el análisis de la regresión para la producción de forraje verde se determinó una tendencia cuadrática altamente significativa, que se reporta en el gráfico 23, de donde se deduce que la cobertura basal a partir de la fertilización con 10T/ha, de carbón vegetal se eleva en 0,84 T/FV/, cuando se utiliza la fertilización con y 20 T/ha, de fertilizante , pero con niveles superiores hasta 30 T/ha, las plantas reducen su cobertura basal en 0,016 TFV/Ha, además se presenta un coeficiente de determinación del ( $R^2$ ), 78,35% , y un coeficiente correlacional (r), del 0,80; que identifica una correlación positiva alta. La ecuación de regresión utilizada fue.

$$\text{Producción de forraje verde} = 5,25 + 0,84(\text{NCV}) - 0,016(\text{NCV})^2.$$

## **6. Producción de materia seca**

Los resultados de la producción de materia seca, registraron diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ), por efecto de los diferentes niveles de carbón vegetal, observándose una mayor producción en las plantas de las parcelas que recibieron 30 t/ha, (T3), con 33,70 tMS/ha/año, seguidas de las plantas que recibieron 20 t/ha, (T2), de las cuales se obtuvieron 32,40 tMS/ha/año, en

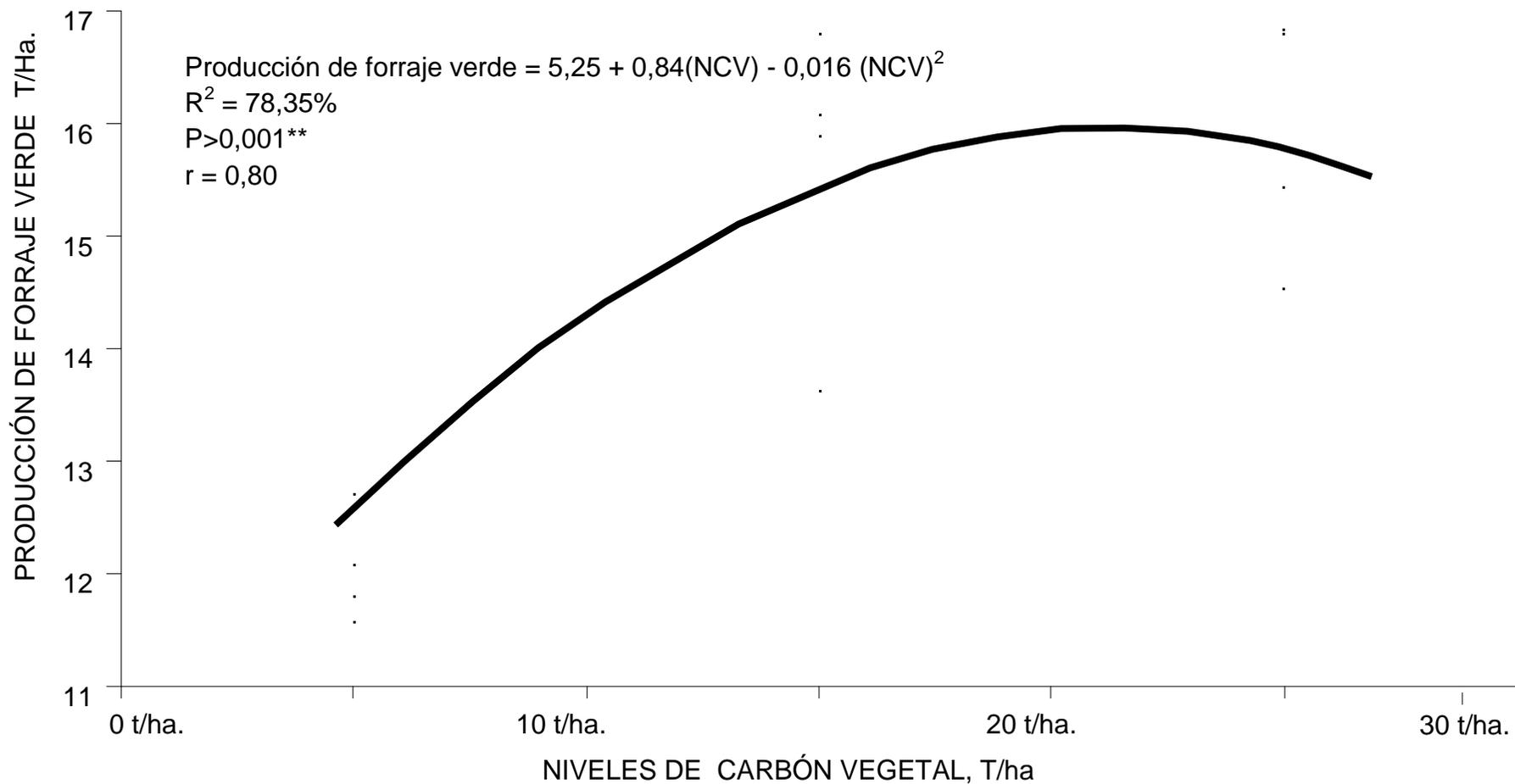


Gráfico 23. Regresión de la Producción en forraje verde, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha.), de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

cambio que las plantas del tratamiento T1 (10 t/ha.), se presentó la menor cantidad de forraje en materia seca con 26,12 tMS/ha/año, como se ilustra en el gráfico 24, respuestas que denotan que el empleo de la mayores niveles de carbón vegetal (30 T/ha.), tuvo un efecto favorable en cuanto a la producción de materia seca de la alfalfa en el segundo corte .

Respuestas que pueden deberse a lo que señala Alarcón, Z. (2007), quien indica que la acumulación de forraje es la respuesta del genotipo al medio ambiente; la radiación solar, a través de la fotosíntesis, así como de la temperatura y de la cantidad de lluvias que se pueden presentar durante el desarrollo del cultivo, ya que este fenómeno ayuda a la disolución y descomposición de los nutrientes aportados a la planta por medio de la utilización de la fertilización, pero es necesario tomar en cuenta que para restaurar ecológicamente el suelo se convierte en una alternativa la aplicación de carbón vegetal, ya que; como se ha mencionado anteriormente, uno de los problemas más graves a los que se enfrentan los agricultores de nuestro país es el de la salinización de sus suelos y sustratos debido al inevitable empleo de aguas de riego de deficiente calidad y al uso excesivo de fertilizantes minerales.

Por otra parte, los resultados obtenidos son superiores a los alcanzadas por Aragadvay, R. (2010), quien determinó producciones de forraje en materia seca entre 11.96 y 22.61 TMS/ha/año, en el segundo corte de igual manera Chacón, D. (2011), alcanzó producciones de forraje en materia seca entre 17.39 y 19.53 TMS/ha/año, Garcés, S. (2011), reportó 2.59 TMS/ha/corte, con el uso de 5T/ha, de abono orgánico sólido potenciado con trichoderma (AOSPT). Para <http://www.dialnet.unirioja.es>.(2008), fertilizando diferentes especies de alfalfa *Medicago sativa* en Argentina en suelos con altos niveles de fósforo y azufre en el segundo corte obtuvo producciones de la alfalfa (*Medicago sativa*), de 2.85 T/ha,/corte. Espín, R. (2011), en la evaluación de diferentes niveles de fertilización foliar agro hormonas registro el tratamiento la mejor respuesta para el tratamiento AGH750 con 2.91 T/ha,/ corte. La superioridad registrada en la investigación pudo deberse a que el carbón vegetal se convirtió en una medida

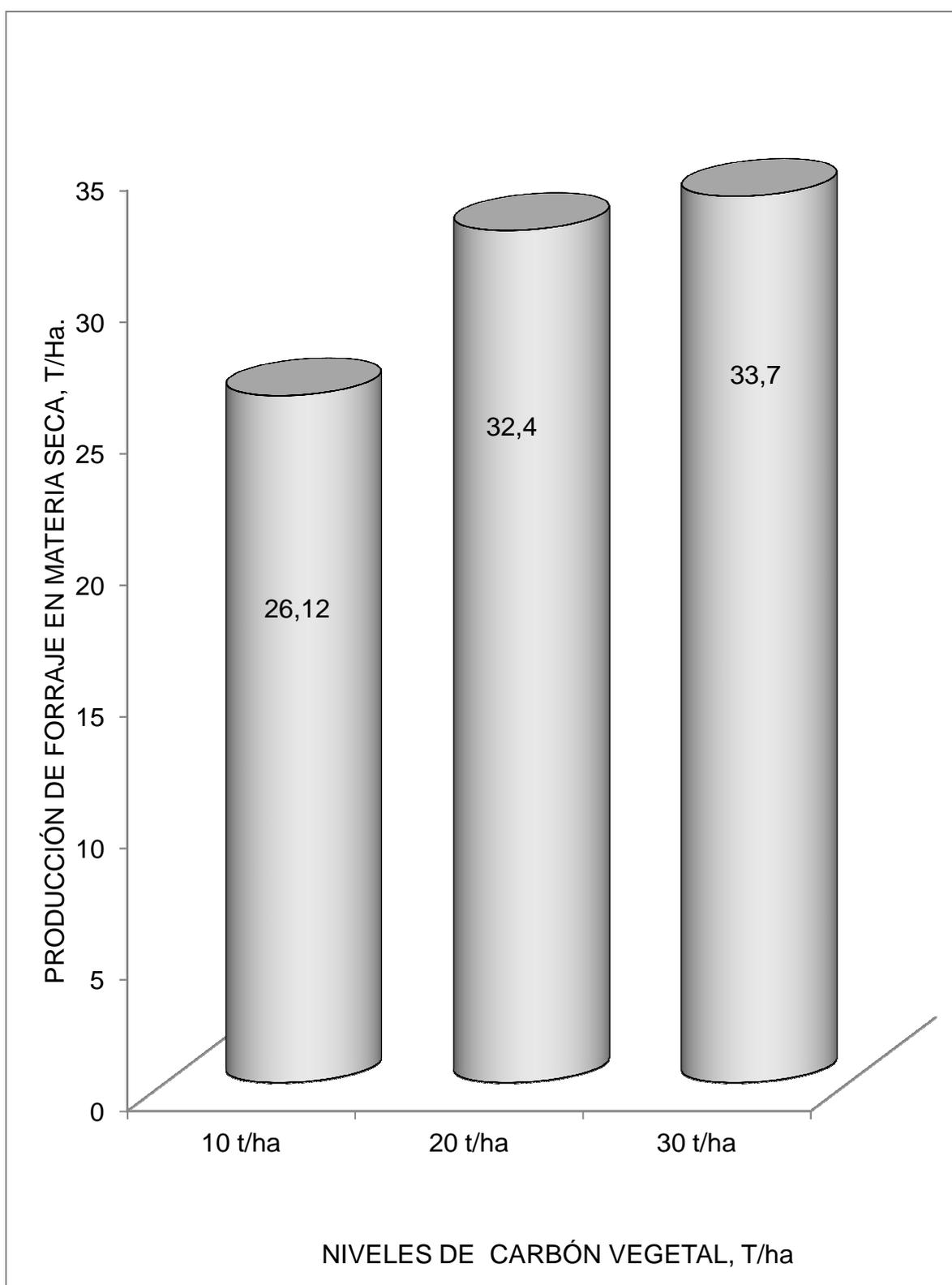


Gráfico 24. Producción en forraje de materia seca, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha,) de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

de conservación que permitió amortiguar las pérdidas de suelos y nutrientes, y elevar la capacidad productiva de los cultivos.

El análisis de regresión de la producción de materia seca de la alfalfa en el segundo corte que se ilustra en el gráfico 25, infiere una tendencia cuadrática altamente significativa, y que establece que partiendo de un intercepto de 14,86 T/ha, inicialmente la producción de materia seca se incrementa con la elevación de 10 a 20 T/ha, de carbón vegetal para posteriormente al fertilizar la pradera de alfalfa con 30 T/ha, de carbón vegetal como restaurador del suelo, iniciar un descenso de 0,02 T/ha, de materia seca, además existe un grado de determinación ( $R^2$ ), del 74,26% entre las variables regresionadas así como también una correlación del 0,80% que es positiva y alta. La ecuación de regresión cuadrática establecida fue la siguiente.

$$\text{Producción de materia seca} = 14,86 + 1,37(\text{NCV}) - 0,02(\text{NCV})^2.$$

## **7. Número de tallos por planta**

En los resultados obtenidos para la variable número de tallos por planta del *Medicago sativa*, (alfalfa); en respuesta a la fertilización con diferentes niveles de abono orgánico carbón vegetal, como restaurador del suelo no se determinó diferencias estadísticas, ( $P < 0,05$ ), entre tratamientos; sin embargo de carácter numérico se identificó superioridad hacia las parcelas correspondientes al tratamiento T3 (30 T/ha.), con 45,00 tallo/planta; y que superó a los promedios determinados en los demás tratamientos, seguidamente se ubicaron los promedios establecidos en el tratamiento T2 (20 T/ha.), con 44,75 tallos por planta; en comparación de las respuestas más bajas de la investigación que fueron registradas en las parcelas del tratamiento T1 (10 T/ha.), con 40,0 tallos/planta, como se ilustra en el gráfico 26.

Respuestas que permiten estimar que mayores niveles de carbón vegetal aplicado a la parcela elevan el número de tallos por planta de la alfalfa y que es

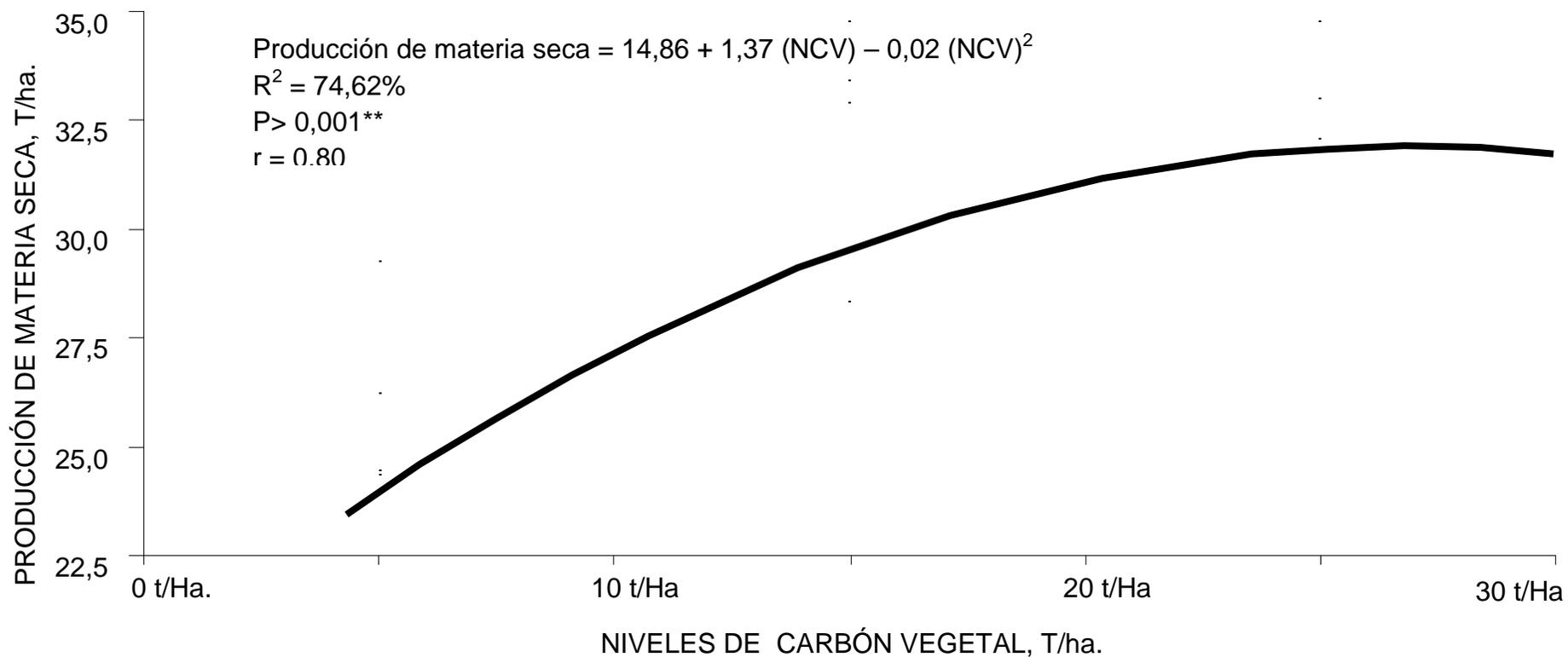


Gráfico 25. Regresión de la producción en forraje de materia seca, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha,) de carbono vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

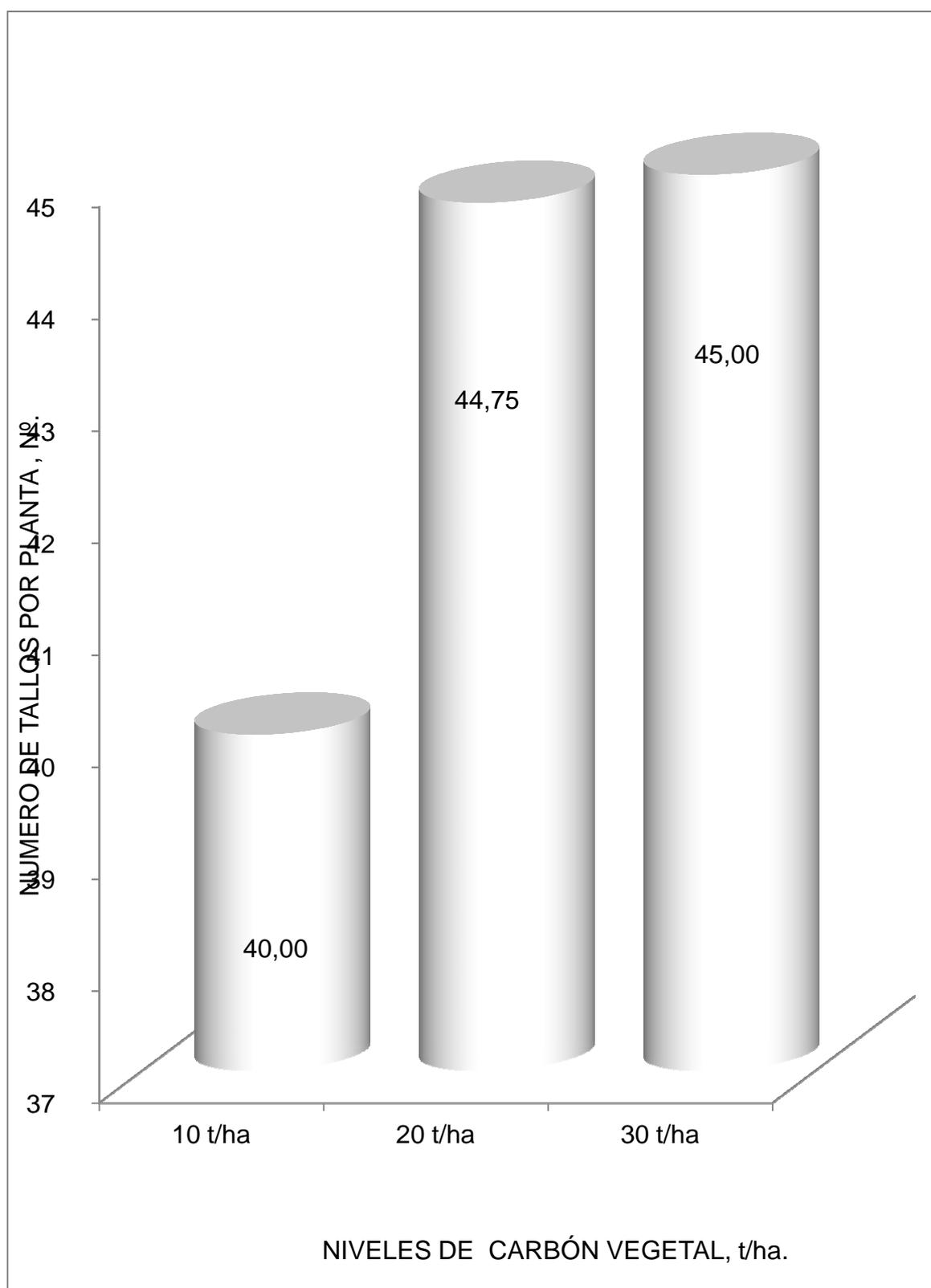


Gráfico 26. Número de tallos por planta, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha,) de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

corroborado con las apreciaciones de Bietti, S. (2003), quien manifiesta que el carbón vegetal que se consideraba el ingrediente fundamental está 70 veces más concentrado en la terra preta que en los suelos circundantes y se forma calentando la biomasa en un entorno pobre en oxígeno o carente de él. Su permanencia ha llamado la atención de los investigadores, que creen que se podría utilizar como sistema para encerrar el carbono durante un tiempo igual de largo en el futuro, manteniéndolo fuera de la atmósfera como gas de efecto invernadero, evitando si es aplicado en dosis correctas la quemadura en el follaje y detener su crecimiento y desarrollo, por lo que en base a esto, para conseguir un mayor número de tallos por planta se puede aplicar altos niveles de fertilizante orgánico carbón vegetal, ya que la producción de hojas está esencialmente completa a finales de la semana 5, así también las diferencias se deben a las distintas variedades de alfalfas utilizadas, composición de los abonos y técnicas de aplicación del fertilizante.

Respuestas que son superiores a los resultados de Espín, R. (2011), quien determinó que al aplicar el tratamiento con 750 cc de agrohormonas (AGH750) presentó el mayor número de tallos por planta en el segundo corte y que fue de 30.45 tallos/planta, Rivas, M. (2007), en su estudio de la alfalfa en la producción de semilla informa un número de 92 tallos/planta. Los resultados al ser superiores son indicativos que la aplicación del carbón vegetal modificó las propiedades químicas del suelo, incrementando el contenido de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.

López, A. (2011), al realizar la evaluación de diferentes niveles de vinaza aplicados basalmente en la producción forrajera del *Medicago sativa* (alfalfa), reporta en el segundo corte un mayor número de tallos por planta que en el primer corte, ya que los valores determinados fueron de 29.97 frente a 28.38 tallos/planta, respectivamente, Aragadvay, R. (2010), quien señala que al aplicar diferentes niveles de bacterias *Rhizobium meliloti* con la adición de estiércol de cuy en la alfalfa registró entre 29.58 y 32.21 tallos/planta. Cordovez, M. (2010), al emplear 7 T/ha, de bokashi determina 21.78 tallos/planta, estos valores resultan inferiores en relación a los investigados debido a diferentes factores como

variedad de alfalfa ocupada, época de lluvia, tipo de abono aplicado, eliofania, calidad del suelo.

## **8. Número de hojas por tallo**

En la investigación de la variable número de hojas por tallo en el segundo corte de la alfalfa por efecto de la aplicación de diferentes niveles de carbón vegetal (bichar), como restaurador del suelo, se registró diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ), resultando como el mayor tratamiento al aplicar 30 T/ha, (T3), con 111,00 unidades; seguido por las respuestas registradas al utilizar 20 T/ha, (T2), con 102,50 hojas, para finalmente ubicarse el tratamiento con 10 T/ha, (T1), con 97,0 hojas/tallo, como se ilustra en el gráfico 27.

Afirmaciones que tienen su fundamento en lo reportado en el sitio web <http://www.infoagro.com>.(2013), donde se indica que la producción de biomasa esta en proporción directa 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 ya que al existir resultados positivos en el desarrollo de las plantas se afirma que el carbón vegetal actúo sobre el complejo sistema planta suelo, mejorando la disponibilidad de alimento para las plantas, además de que actúa como un complejo fertilizador natural para estimular el crecimiento de la planta, especialmente en la etapa inicial de crecimiento vegetativo, generando un alto índice de área foliar y prolongando el período útil de las hojas a través del tiempo, además, incrementa el número de ejes durante de floración, flores, peso de la vaina, aumentando por lo tanto el rendimiento.

Las respuestas del número de hojas por tallo de la alfalfa presentadas en la investigación, son inferiores al ser comparadas con los reportes de Garcés, S. (2011), quien al realizar la evaluación de diferentes niveles de abono orgánico sólido potencializado con trichoderma en la producción del *Medicago sativa*

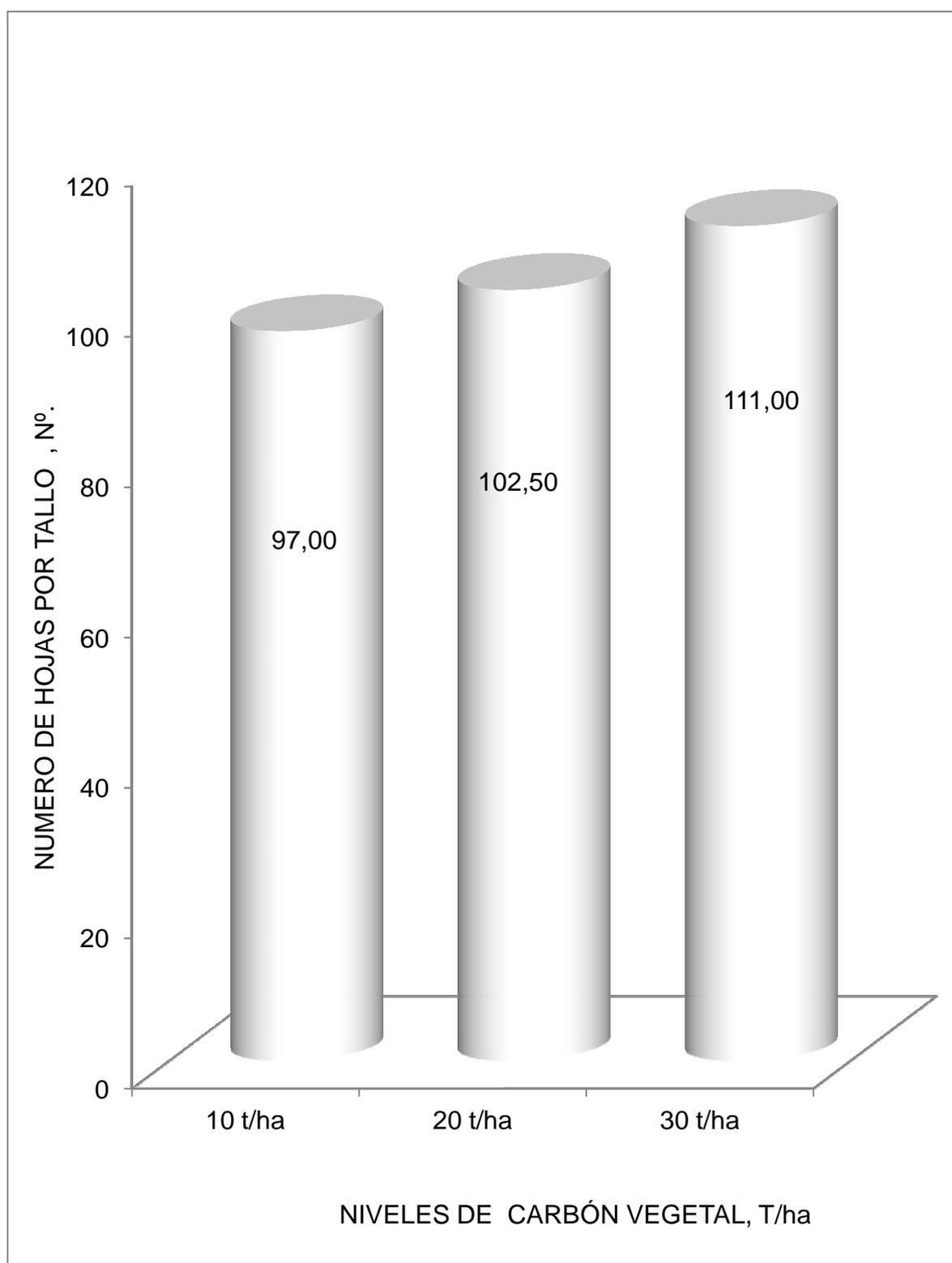


Gráfico 27. Número de hojas por tallo, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha,) de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

estableció el mayor número de hojas para el tratamiento con APSPT5, con 52.33 hojas, así como también de Tenorio, C. (2011), quien al colocar en las parcelas de alfalfa un tratamiento de 3 kg/ha de *Rhizobium meliloti* más vermicompost obtuvo 52.17 hojas/tallo, la presente inferioridad puede deberse a las condiciones iniciales del suelo y a las condiciones climáticas de la región, ya que la vegetación que cubre la superficie de buena parte de las tierras emergidas del planeta constituye el eslabón fundamental del ciclo global del carbono en la biosfera.

El análisis de la regresión determinó una tendencia cuadrática altamente significativa como se ilustra en el gráfico 28, que determina que el número de hojas por tallo inicialmente se eleva para alcanza su mayor punto cuando se utiliza 20 T/ha, de carbón vegetal, pero con niveles superiores, ésta tiende a reducirse ligeramente aproximadamente en 0,02 unidades, además se estableció un coeficiente de determinación ( $R^2$ ), de 68,74%; mientras tanto que el 31,26% restante depende de otros factores no considerados en la presente investigación y que tienen que ver principalmente con las condiciones climáticas y la disponibilidad de riego presente en el momento del trabajo experimental. Existiendo además un coeficiente de correlación ( $r$ ), de 0,82 que infiere una asociación alta positiva entre las variables evaluadas, la ecuación de regresión utilizada fue.

$$\text{Numero de hojas por tallo} = 94,5 + 0,1(\text{NVC}) - 0,02 (\text{NVC})^2$$

### **C. ANÁLISIS INICIAL Y FINAL EL 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), podemos evidenciar los siguientes resultados.

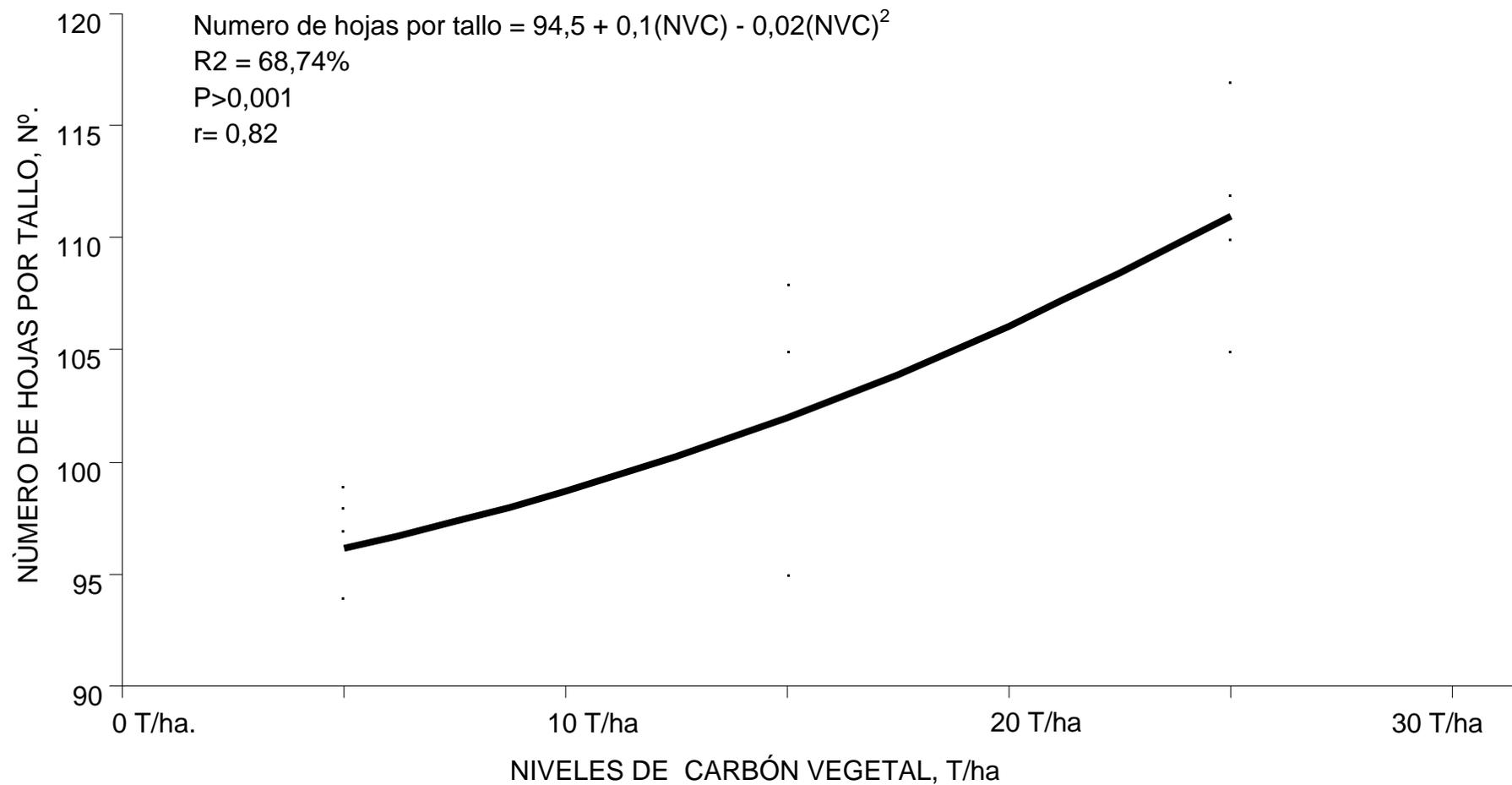


Gráfico 28. Regresión del número de hojas por tallo, de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el segundo corte, bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis (10, 20 y 30 T/ha,) de carbón vegetal, como restaurador ecológico del suelo.

Los reportes del contenido de nitrógeno total del suelo registraron un valor antes de la aplicación del carbón vegetal de 0,09%, el cual asciende a 0,11%, después de la fertilización, esto se debe a que el producto aplicado (carbón), debe cumplir una serie de propiedades que garanticen su calidad, entre ellas, temperatura, granulometría, cantidad de elementos extraños, etc, pero es la relación carbono-nitrógeno una de las más importantes, ya que tanto el carbono como el nitrógeno son dos elementos esenciales para la nutrición de cualquier organismo, en este caso las especies vegetales, por lo que para una correcta fermentación deben encontrarse en las proporciones idóneas. Esta relación indica la fracción de carbono orgánico frente a la de nitrógeno. Prácticamente la totalidad del nitrógeno orgánico presente en un residuo orgánico es biodegradable y, por tanto disponible por el sistema radicular de la planta.

El contenido de fósforo del suelo evidenció un descenso significativo, ya que partiendo de 601,39 mg/Kg. (antes de la fertilización), disminuye a 592,59 mg/Kg (después de la fertilización), el descenso puede ser ocasionado por la lenta mineralización de la materia orgánica que permite la liberación del fósforo y el potasio en la capa superficial del suelo, o porque los cultivos desarrollaron raíces superficiales que los absorben y los movilizan dentro del perfil además también puede deberse a la presencia de suelo demasiado ácido, para lo cual el primer paso a seguir es el de reducir la acidez del mismo, de esta forma el fósforo del suelo se vuelve disponible a las plantas, solo se dispone de unas pequeñas cantidades de las rocas y de los minerales del suelo gracias a la acción erosiva de los elementos. Los principales limitantes para la absorción del fósforo es la baja disponibilidad en los suelos y la baja movilidad del elemento que no permite que la planta lo pueda absorber ya que el fósforo es uno de los elementos principales para la formación de ácidos nucleídos, los cuales son la base de toda la genética de la planta.

El contenido de potasio en el suelo donde se realizó la producción de alfalfa reportó un descenso poco significativo después de la utilización de abonos orgánicos ya que partiendo de un valor inicial de 627,19 mg/Kg, antes de la fertilización desciende a 624,20 mg/Kg, después de la fertilización, esto es

posiblemente a que al ser una parcela establecida existió plantas con un sistema radicular débil y que no pudieron reponerse con la aplicación de carbón vegetal, así como también a que las plantas estuvieron expuestas a un stress hídrico o a cambios de temperatura demasiado pronunciados. Sin embargo hay que tomar en cuenta que este elemento es indispensable en el suelo para el cultivo de las plantas ya que interviene en la síntesis proteica pues juega el papel de activador enzimático, también se encarga del mantenimiento de los potenciales osmóticos y eléctricos dentro de la célula, lo que le beneficia el desarrollo de la planta, el descenso registrado únicamente puede deberse a que el carbón vegetal necesita de transformaciones físicas y químicas para deshacerse y liberar el potasio en una forma química para que puedan ser aprovechados de forma efectiva por las plantas, la falta de potasio reduce el vigor y el rebrote del alfalfa.

En lo que tiene que ver con la materia orgánica se pudo evidenciar un incremento de 1,08%. ya que partiendo de 0,72% antes de la aplicación asciende a 1.8% después de la aplicación de los abonos orgánicos, debido a que la base de los abonos empleados es la materia orgánica y por ende al adicionar este producto a la parcela de la alfalfa, estamos enriqueciendo de esta substancia que es indispensable, para el desarrollo de la planta. Cuando se extiende por la tierra, el carbón vegetal mantiene el CO<sub>2</sub>; alejado de la atmósfera mejorando la fertilidad del suelo y aumentando la productividad, Atendiendo a los efectos conocidos del carbón vegetal sobre suelo y plantas, algunos de los aspectos que han sido estudiados son el aumento de la disponibilidad de nutrientes para las plantas en parte debidos a la mejora de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo (CIC), así como la estimulación de los procesos biológicos que permiten mejorar la estructura del suelo y la capacidad de almacenamiento de agua. Atendiendo al efecto de enmienda orgánica que produce la aplicación del carbón vegetal en suelos, la reducción en la densidad aparente y el aumento de materia orgánica permitirían reducir el laboreo mecánico, así como se obtendrían beneficios similares a los conocidos por la aplicación de enmiendas orgánicas

Finalmente en el contenido de carbono orgánico total, también se presenta un incremento significativa ya que partiendo de 0,42% antes de la aplicación del

carbón vegetal se eleva a 1,05% , lo que puede deberse a que se ha comprobado que la adición de enmiendas en forma de carbón vegetal (especialmente los de pirólisis lenta y rápida) conlleva una ligera mejora en el crecimiento y desarrollo de las plantas, comparado con la adición exclusiva de un fertilizante mineral. En definitiva al carbón vegetal se le considera como una roca sedimentaria de origen orgánico formado a partir de restos vegetales transformados por efectos combinados de la acción microbiana presión y calor El carbón vegetal es una estrategia que conlleva un riesgo menor que otras opciones de secuestro de carbono, en los que el carbono almacenado puede ser liberado, tanto por incendios, como por la reconversión de agricultura sin arado al arado convencional, o por filtraciones desde almacenes de carbono geológico. Una vez que el carbono se incorpora en el suelo, es difícil imaginar algún accidente o cambio en la práctica de uso que pueda causar una súbita pérdida del carbono capturado.

#### **D. HUMEDAD DEL SUELO**

El análisis del suelo en el primer corte determino una humedad del 5,57% mientras tanto que en segundo corte se elevó a 5,87%, es decir que la aplicación de carbón vegetal es responsable de la asimilación del agua para el suelo debiendo tomarse en consideración que una causa importante de la baja producción y del fracaso de los cultivos en la agricultura de nuestro país en ciertas épocas del año es la lluvia escasa y errática. Sin embargo, en muchas áreas el manejo de tierras y cultivos no favorece el flujo del agua en la zona radical del cultivo. Por ello, los rendimientos pobres están relacionados con una insuficiencia de la humedad del suelo más que con una insuficiencia de la lluvia, ya que según <http://www.ars.usda.gov>.(2013), Jeff Novak en el Centro de las Llanuras Costeras para la Investigación de Suelo, Agua y Plantas mantenido por el ARS en Florence, Carolina del Sur, está coordinando el proyecto, el cual involucra múltiples sitios. Él dirigió un estudio de laboratorio para determinar si diferentes tipos de carbón vegetal podrían mejorar los suelos arenosos de las llanuras costeras de las Carolinas, y los suelos derivados de la ceniza volcánica en la región del Pacífico Noroeste de EE.UU. Después de cuatro meses, el grupo descubrió que los carbón

vegetal producidos del césped *P. virgatum* de las maderas duras aumentaron la humedad del suelo en todos los tres tipos de suelo. El aumento más grande ocurrió en los suelos enmendados con el carbón vegetal a base del césped y producido con la pirólisis con las temperaturas altas. Estos suelos contuvieron casi el 3 al 6 por ciento más humedad que los niveles en una muestra de suelo no enmendado.

El carbón vegetal producido con temperaturas más altas también aumentó los niveles del pH en el suelo, y el carbón vegetal a base de los desperdicios avícolas significativamente aumentaron los niveles de fósforo y sodio disponibles en el suelo. Enmiendas a base de carbón vegetal del césped *P. virgatum* podrían prolongar la disponibilidad de la humedad del suelo de 1 a 3,6 días para un cultivo de alfalfa en Florence, y podrían prolongar la disponibilidad de la humedad del suelo de 0,4 a 2,5 días para los cultivos en los suelos a base de la ceniza volcánico en la región del Pacífico Noroeste. Basado en sus resultados, el grupo cree que los productores agrícolas algún día podrían seleccionar las materias primas y los procesos específicos de pirólisis para crear carbón vegetal "hechos a la medida" con características que ayudan a resolver deficiencias específicas en diferentes tipos de suelo. Por lo tanto los resultados de la investigación al presentar un ascenso de un corte a otro en lo que se refiere a humedad se está concordando con lo expuesto anteriormente.

## **E. DENSIDAD APARENTE**

Los valores de densidad aparente del suelo en la producción de alfalfa utilizando diferentes niveles de carbón vegetal reportaron en el primer corte un promedio de 1,24 gr/ml y que asciende a 1,28 gr/ml en el segundo corte. Resultados que suelen ser muy benéficos ya que en <http://www.raucarias.blogspot.com>.(2013), se indica que la densidad aparente se define como el peso seco de una unidad de volumen de suelo. Los factores que la afectan son principalmente tres: la textura, la estructura y la presencia de materia orgánica. Suelos con texturas arenosas tienden a tener densidades mayores que suelos más finos, al mismo tiempo en suelos bien estructurados los valores son menores. Valdés citado por

Donoso, A. (2002), entrega valores promedios de densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) para suelos de rocas y minerales 2.65; arena 1.9-1.7; Textura franca 1.3-1.0; suelo rico en humus 0.9-0.8.

La densidad aparente del suelo es un buen indicador de importantes características del suelo, a saber: porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración. En un tipo de suelo los valores bajos de densidad aparente implican suelos porosos, bien aireados con. Buen drenaje y buena penetración de raíces, todo lo cual significa un buen crecimiento y desarrollo de los árboles. Por otro lado, si los valores son altos, quiere decir que el suelo es compacto o poco poroso, que tiene mala aireación, que la infiltración del agua es lenta, lo cual puede provocar anegamiento, y que las raíces tienen dificultades para elongarse y penetrar hasta donde encuentren agua y nutrientes.

En estas condiciones, el desarrollo y crecimiento de los árboles es impedido o retardado consistentemente, por lo que es necesario restaurarlo y bioremediarlo y que mejor que utilizando el carbón vegetal.

## **F. EVALUACIÓN ECONÓMICA**

Mediante el análisis económico de la producción anual de forraje verde de la alfalfa (*Medicago sativa*), que se reporta en el cuadro 11, se determinó que la mayor rentabilidad se alcanza cuando se emplea la fertilización con 30 T/ha, de carbón vegetal, por cuanto se encontró un beneficio/costo de 1.63 es decir el 63 % de rentabilidad, que representa que por cada dólar invertido se obtiene una ganancia de 63 centavos, siguiéndole en orden de importancia, pero con menor rentabilidad la producción de forraje fertilizado con 20 T/ha, de carbón vegetal, ya que el beneficio costo fue de 1,49; es decir el 49% de utilidad; mientras tanto que los valores más bajos fueron registrados al fertilizar con 10 T/ha, de carbón vegetal cuya relación beneficio costo fue de 1,33 es decir que por cada dólar invertido se espera una ganancia del 33%

Cuadro 10. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN FORRAJERA DE ALFALFA (*MEDICAGO SATIVA*), AL RESTAURAR ECOLÓGICAMENTE EL SUELO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE DIFERENTES NIVELES DE CARBÓN VEGETAL (CARBÓN VEGETAL).

Parámetros		NIVELES DE CARBÓN VEGETAL		
		10T/ha	20T/ha	30T/ha
Egresos		T1	T2	T3
Costo de las plantas, \$	1	800	800	800
Mano de obra, \$	2	240	240	240
Carbón vegetal, \$	3	200	300	400
Uso del terreno, \$	4	120	120	120
<b>Total Egresos</b>		<b>1360</b>	<b>1460</b>	<b>1560</b>
Producción de forraje, t/ha/año	5	60,4	72,48	84,56
Ingreso por venta de forraje, \$	6	1812	2174,4	2536,8
<b>Beneficio/Costo</b>		<b>1,33</b>	<b>1,49</b>	<b>1,63</b>

Fuente: Cortez, M. (2013).

1.: \$0,02 por planta; aproximadamente, 40 000 plantas/ha.

2: Jornal jornal \$70,00 mensuales.

3: 1 qq, de carbón vegetal 20 dólares.

4. 30 dólares mensuales.

5: 8 cortes al año.

6: \$ 0,03 cada kg de forraje verde.

Por lo que se establece que con la utilización del fertilizante orgánico carbón vegetal como restaurador del suelo para la producción forrajera de la alfalfa en dosis de 30 T/ha, (T3), a más de evitar la contaminación del suelo, ya que La materia orgánica puede construir una estructura superficial e interna más fuerte en el perfil del suelo para una condición que permita la fácil entrada del agua (agua de infiltración) y su almacenamiento (agua de retención) en forma disponible para la planta, y de esta manera se eleven los márgenes de utilidad de la producción forrajera de la alfalfa.

## V. CONCLUSIONES

- La utilización de 30 t/ha, de carbón vegetal como restaurador del suelo en la producción la alfalfa en el primer corte alcanzó el menor tiempo de ocurrencia a la floración (40,70 días), la mayor cobertura basal (39,35 %) y cobertura aérea (86,70%), así como también la mejor altura (87,98 cm), y sobre todo la mayor producción en forraje tanto en materia verde 15,80 tFV/Ha/corte; como en seca (33,38 TMS/Ha/año); y finalmente, el mayor número de hojas por tallo (103,45 unid).
- El comportamiento de la alfalfa en el segundo corte fue similar que en el primero ya que las respuestas más eficientes fueron alcanzadas con la aplicación de 30 t/ha, de carbón vegetal, especialmente en lo que tiene que ver con la mejor cobertura basal(86,55%), y aérea (95,42%), así como también la mayor producción en forraje verde (15,92 T/ha/corte), y producción en materia seca (33,70 tMS/Ha/año), siendo inclusive mayores que en el primer corte.
- El efecto de la enmienda orgánica con la aplicación del carbón vegetal ha permitido observar una mejora de parámetros físicos del suelo relacionados con la producción de plantas, como son la densidad aparente y la capacidad de retención de agua, que son mayores después de la aplicación del carbón vegetal.
- Conviene resaltar que no se han encontrado efectos positivos importantes en el análisis químico el suelo debidos a la aplicación de los distintos niveles de carbón vegetal, ya que se han observado respuestas en las plantas similares a las producidas por el fertilizante mineral, lo que ha generado que el beneficio costo sea elevado especialmente en el tratamiento T3 (30 T/ha), cuya relación fue de 1,63 es decir que por cada dólar invertidos se espera una ganancia del 63%.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Utilizar la fertilización orgánica aplicando mayores niveles, de carbón vegetal en la producción de alfalfa, ya que se produce una elevada cantidad de forraje verde en cada uno de los cortes valorados, como también mejor rentabilidad económica (63 %), con respecto a los otros niveles evaluados.
- Si se desea recuperar parcelas afectadas por la erosión o que sean demasiado pobres, será necesario la aplicación de carbón vegetal en dosis altas ya que constituye una alternativa para reducir los problemas de esterilidad del suelo debido a que la existencia de ácidos húmicos en el carbón parece ser el mayor aporte a la nutrición vegetal, puesto que estos ácidos intervienen en la formación de complejos órgano-minerales y en los efectos catalíticos y estimulantes sobre el crecimiento vegetal.
- Se debe evaluar mayores niveles de carbón vegetal que 30 t/ha, y tomar distintos tamaños de carbón vegetal en establecimiento de parcelas, sobre la dinámica de agregación del suelo, adaptado a las condiciones de nuestro medio, y en diferentes especies a la evaluada, con la finalidad de realizar un manejo sostenible del suelo, y el mejoramiento de la alfalfa respecto al estrés por nutrientes y sequía.

## VII. LITERATURA CITADA

1. ANDRADE, J. 2010. Evaluación de dos sistemas y tres distancias de siembra del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp) en la localidad de Chalguayacu, cantón Cumanda provincia de Chimborazo. Facultad de Ciencias Pecuarias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador. pp. 24 – 26.
2. 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. Universidad Autónoma de Chapingo México. p. 58.
3. ARAGADVAY, R. Efecto de la aplicación de diferentes niveles de bacterias *Rhizobium meliloti* con la adición de estiércol de cuy en la producción forrajera del *medicago sativa*. Tesis de grado Facultad de Ciencias Pecuarias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador. pp. 44 – 46.
4. BAYAS, A. 2003. El bocashi, te de estiércol, biosol como biofertilizantes en la producción de alfalfa (*Medicago sativa*). Tesis de grado. Escuela de Ingeniería Zootécnica, Facultad de Ciencias Pecuarias - ESPOCH Riobamba - Ecuador. pp. 28 - 54.
5. BIETTI, S. 2003. Nutrición vegetal: Insumos para cultivos orgánicos. Accesado el 20 de abril de 2004.
6. BRIDGEWATER, P. 2002. Fortalecimiento de áreas protegidas. En: estrategia global para la biodiversidad. UICN-WRI-PNUMA. p. 117-132.
7. BENZING, A. 2001. Agricultura orgánica: Fundamentos para la región andina. 1a ed. Alemania. Edit. Neckar Verlag. pp. 135 – 145.

8. CORDOVEZ, M. 2009. Evaluación de diferentes niveles y tiempos de aplicación del abono orgánico bokashi en la producción de forraje de la alfalfa (*Medicago sativa*), Tesis de grado. Escuela de Ingeniería Zootécnica, Facultad de Ciencias Pecuarias - Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador. pp. 56 -61.
9. CHÁVEZ. E. 2010. Evaluación de diferentes niveles de enraizador más humus de lombriz en la alfalfa (*Medicago sativa*)”. Tesis de grado. Escuela de Ingeniería Zootécnica, Facultad de Ciencias Pecuarias - Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador. pp. 55 -67.
10. CORDOVEZ, M. 2009. “Evaluación de diferentes niveles y tiempos de aplicación del abono orgánico bokashi en la producción de forraje de la alfalfa (*Medicago sativa*)”. Tesis de grado Facultad de Ciencias Pecuarias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador. pp 44 – 46.
11. ECUADOR, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO (ESPOCH). 2011. Anuarios meteorológicos, Facultad de Recursos Naturales. Riobamba, Ecuador.
12. ESCALANTE, M. 2005. Acumulación de biomasa aérea en rebrotes de alfalfa en Balcarce. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Balcarce. Facultad de ciencias Agrarias. Universidad Nacional El Rosario. Buenos Aires - Argentina. pp. 42 - 50.
13. ESPIN R. 2011. “evaluación de diferentes niveles de fertilización foliar agro hormonas en la producción primaria forrajera de *Medicago sativa* (alfalfa) en la Estación Experimental Tunshi” Tesis de grado. Escuela de Ingeniería Zootécnica, Facultad de Ciencias Pecuarias - Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador. pp. 65 – 73.

14. GAMBAUDO, S.; 2001. La fertilización en siembra directa. Información técnica N° 219. INTA. EEA Rafaela. Buenos Aires, Argentina pp.1-25
15. GARCES, S 2011. Evaluación de diferentes niveles de abono orgánico sólido potencializado con trico derma en la producción forrajera de *Medicago sativa*, (alfalfa) en la Estación Experimental Tunshi. Tesis de grado. Escuela de Ingeniería Zootécnica, Facultad de Ciencias Pecuarias - Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador. pp. 65 – 73.
16. GRIJALVA, J. 2005. Producción de pastizales en la Región Interandina del Ecuador. Manual N° 30. Quito, Ecuador. Edit. INIAP. p. 125.
17. 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. Edit. UICN. pp 127 - 132.
18. <http://www.articulos.infojardin.com>. 2010. Chan, K. La aplicación del carbón vegetal en la restauración ecológica.
19. <http://www.monografias.com>. 2013 Cervera, A. La cobertura aérea de la alfalfa.
20. <http://www.restauracionecologica.com>. 2012. Downie, A. Restauración ecológica de una parcela establecida. Mecanismos de restauración ecológica.
21. <http://www.agroamazonas.gob>. 2012. Dugan, E. Formas de uso de la alfalfa en la serranía ecuatoriana.
22. <http://www.monografias.com/alfalfa.html>. 2012. Domezain, A. factores a tomarse en cuenta en la producción de alfalfa.

23. <http://www.agronomord.blogspot.com>.2012. Espinoza, R. El carbón vegetal o carbón vegetal para conseguir la restauración ecológica.
24. <http://www.veoverde.com>. 2013. Fabeiro, C.La avanzada tecnología de las civilizaciones precolombinas.
25. <http://www.wrm.org.uy/boletin/138/Carbónvegetal.html>. 2013. Fuentes, A. Descripción botánica de la alfalfa.
26. <http://www.agronomord.blogspot.com>. 2012. García, T. Problemas que se puede presentar en una parcela.
27. <http://www.mundo-pecuario.com>. 2003. González, R. Restauración ecológica de una parcela de alfalfa.
28. <http://www.happyflower.com>. 2009. Hermoso, M. El suelo diferentes formas de restaurarlo.
29. <http://www.mejorpasto.com.ar>. 2012. Iñihues, P. La densidad del suelo después de la restauración ecológica.
30. <http://www.pasturasyforrajes.com>.2012. Jiménez, P. La remediación ecológica de los suelos desgastados.
31. <http://www.mejorpasto.com.ar>. 2012. Karpeluz, M. La alfalfa usos y características.
32. <http://www.abccagro.com>. 2012 Kristiina, K. Profundidad del suelo y factores bióticos para la producción de alfalfa.
33. <http://www.agroamazonas.gob>. 2008. Alfredo Lacasa Usos de la alfalfa, henificación o deshidratación.
34. <http://www.infoagro.com>. 2012. Lehmann, J. Menos CO<sub>2</sub> en la atmósfera y menor impacto agrario.

35. <http://www.pasturasyforrajes.com>. 2013. López, C. Estudio de la inflorescencia y el fruto de la alfalfa.
36. <http://www.abccagro.com/herbaceos/forrajes/alfalfa>. 2012. Lopez, M. Estudio de la salinidad y alcalinidad del suelo.
37. <http://www.mejorpasto.com.ar>. 2012 Lehmann, J. Clasificación taxonómica de la alfalfa.
38. <http://www.mundo-pecuario.com>. 2012. Major, J. Águila, N. Descripción botánica de la alfalfa.
39. <http://www.agronomord.blogspot.com>. 2012. Madaula, F. Menos CO<sub>2</sub> en la atmósfera y menor impacto agrario.
40. [http://www.wrm.org.uy/boletin/138/Carbón vegetal.html](http://www.wrm.org.uy/boletin/138/Carbón%20vegetal.html) 2013. Martínez, M. Clasificación taxonómica de la alfalfa.
41. <http://www.faircompanies.com>. 2013. Muñoz, C. características de la alfalfa
42. <http://www.emisom.com>. 2006. Morell, A. Estudio de las partes de una planta de alfalfa.
43. <http://www.infoagro.com>. 2013. Porcuna, J. Tiempo de ocurrencia a la prefloración de las plantas.
44. <http://www.mundopecuario.com>. 2012. Pomares, F. Nitrógeno, fósforo y potasio para la producción de alfalfa.
45. <http://www.articulos.infojardin.com>. 2010. Rondon, M. La alfalfa, como cuidarla y fertilizarla.
46. <http://www.restauracionecol.com>. 2012. Schmidt, M. Degradación y necesidad de restauración ecológica.

47. <http://www.agronomord.blogspot.com>.2012. Shie, J. La avanzada tecnología de las civilizaciones precolombinas.
48. <http://www.abcagro.com/herbaceos/forrajes/alfalfa>. 2012. Suárez, M. Estudio de la estructura del tallo y hojas de la alfalfa.
49. <http://www.pasturasyforrajes.com>. 2012. Sánchez, H. Época de siembra y dosis y profundidad de siembra.
50. <http://www.dc.delinat-institut.org>. 2013. Sans, H. Degradación y necesidad de restauración ecológica del suelo
51. <http://www.bioteconologia.com>. 2007. Soriano, J. Como influye el porcentaje de cobertura aérea sobre la calidad de los nutrientes.
52. <http://www.raucarias.blogspot.com>. 2013. Tello, J. Estudio de la inflorescencia y el fruto de la alfalfa
53. JACKSON, L. 2002. The role of ecological restoration in conservation biology. 1a ed. Texas, Estados Unidos. Edit Fielder and Jain. pp. 45 – 67.
54. JEFF NOVAK, P. 2002 Centro de las Llanuras Costeras para la Investigación de Suelo, Agua y Plantas. 1a ed. Buenos Aires, Argentina. Edit Gaucho. pp 12 – 15
55. LIEBERG, P. 1993. Strategies for population reintroduction; effects of genetic variability on population growth and size. 1a ed. Arizona, Estados Unidos. Edit Conservation biology pp. 194-199.
56. LONEY, B. 2001. Management of vegetation corridor: maintenance, rehabilitation and establishment. In: Nature conservation: the role of corridors. eds. Saunders, Hobbs, Surrey y Sons. USA. pp 299-311.

57. LOPEZ, A. 2011. "Evaluación de diferentes niveles de vinaza aplicados basalmente en la producción forrajera del *Medicago sativa* (alfalfa). Tesis de grado. Escuela de Ingeniería Zootécnica, Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador. pp. 55 – 72.
58. MACHLIS, G. 2003. Áreas protegidas en un mundo cambiante: Los aspectos científicos. En Parques y progreso. Caracas, Venezuela IV Congreso mundial de parques y áreas protegidas. Edit UICN, BID. pp 37-53.
59. PNUMA, W. 2001. Cuidar la tierra: Estrategia para el futuro de la vida. Gland, Suiza. Edit. Alpes 258 p.
60. ROJAS. C. 2011. Evaluación de diferentes niveles de biol en la producción primaria de una mezcla forrajera alfalfa *Medicago sativa* Y raygrass *Lolium perenne* en la estación experimental tunshi. Tesis de grado. Escuela de Ingeniería Zootécnica, Facultad de Ciencias Pecuarias - Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador. pp. 37-54.
61. TENORIO, C. (2011), Evaluación de diferentes niveles de rhizobium meliloti más la adición de vermicompost en la producción de forraje del *medicago sativa* (alfalfa). Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Pecuarias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. pp. 84 - 93.

# **ANEXOS**

Anexo 1. Evaluación del tiempo a la prefloración de la alfalfa *Medicago sativa* en el primer corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).

### 1. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Biochar	REPETICIONES			
	I	II	III	IV
10 Tn/ha	45	44	46	45
20 Tn/ha	39	42	40	41
30 Tn/ha	42	40	41	39

### 2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ADEVA).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fisher	p-valor
Total	11	66,00	6,00		
Niveles de biochar	2	54,00	27,00	14,29	0,01
Bloques	3	0,67	0,22	0,12	0,95
Error	6	11,33	1,89		

### 3. SEPARACIÓN DE MEDIAS SEGÚN TUKEY AL 5%, POR EFECTO DEL NIVEL DE BIOCHAR.

Biochar	Media	Grupo
10 Tn/ha	45,00	a
20 Tn/ha	40,50	b
30 Tn/ha	40,50	b

### 4. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA REGRESIÓN

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	54	27,00	20,25	0,0005
Residuos	9	12	1,33		
Total	11	66			

Anexo 2. Evaluación de la cobertura basal de la alfalfa *Medicago sativa* en el primer corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).

### 1. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Biochar	REPETICIONES			
	I	II	III	IV
10 Tn/ha	35,20	39,20	39,20	43,40
20 Tn/ha	35,60	36,00	40,20	37,40
30 Tn/ha	35,00	39,60	40,80	42,00

### 2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ADEVA).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fisher	p-valor
Total	11	85,43	7,77		
Niveles de biochar	2	10,69	5,34	1,75	0,25
Bloques	3	56,44	18,81	6,17	0,03
Error	6	18,30	3,05		

### 3. SEPARACIÓN DE MEDIAS SEGÚN TUKEY AL 5%, POR EFECTO DEL NIVEL DE BIOCHAR.

Biochar	Media	Grupo
10 Tn/ha	39,25	a
20 Tn/ha	37,30	a
30 Tn/ha	39,35	a

Anexo 3. Evaluación de la cobertura aérea de la alfalfa *Medicago sativa* en el primer corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).

### 1. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Biochar	REPETICIONES			
	I	II	III	IV
10 Tn/ha	82,20	79,00	79,80	79,20
20 Tn/ha	86,00	81,60	88,80	83,20
30 Tn/ha	81,80	87,40	89,40	88,20

### 2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ADEVA).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fisher	p-valor
Total	11	165,40	15,04		
Niveles de biochar	2	94,65	47,32	5,50	0,04
Bloques	3	19,16	6,39	0,74	0,56
Error	6	51,59	8,60		

### 3. SEPARACIÓN DE MEDIAS SEGÚN TUKEY AL 5%, POR EFECTO DEL NIVEL DE BIOCHAR.

Biochar	Media	Grupo
10 Tn/ha	80,05	b
20 Tn/ha	84,90	ab
30 Tn/ha	86,70	a

### 4. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA REGRESIÓN

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	94,65	47,32	6,02	0,02
Residuos	9	70,75	7,86		
Total	11	165,40			

Anexo 4. Evaluación de la altura de la planta de la alfalfa *Medicago sativa* en el primer corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).

### 1. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Biochar	REPETICIONES			
	II	III	IV	II
10 Tn/ha	78,33	77,50	79,20	78,80
20 Tn/ha	89,20	84,60	82,50	84,00
30 Tn/ha	86,00	89,70	88,50	87,70

### 2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ADEVA).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fisher	p-valor
Total	11	224,24	20,39		
Niveles de biochar	2	190,38	95,19	18,10	0,003
Bloques	3	2,30	0,77	0,15	0,93
Error	6	31,56	5,26		

### 3. SEPARACIÓN DE MEDIAS SEGÚN TUKEY AL 5%, POR EFECTO DEL NIVEL DE BIOCHAR.

Biochar	Media	Grupo
10 Tn/ha	78,46	b
20 Tn/ha	85,08	a
30 Tn/ha	87,98	a

### 4. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA REGRESIÓN

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	181,17	181,17	42,06	0,0001
Residuos	10	43,07	4,31		
Total	11	224,24			

Anexo 5. Evaluación producción de forraje verde (Tn/ha/corte), de la alfalfa *Medicago sativa* en el primer corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).

## 1. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Biochar	REPETICIONES			
	I	II	III	IV
10 Tn/ha	12,60	11,50	13,20	11,00
20 Tn/ha	15,50	13,10	15,70	16,10
30 Tn/ha	15,00	16,70	14,60	16,90

## 2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ADEVA).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fisher	p-valor
Total	11	44,00	4,00		
Niveles de biochar	2	31,36	15,68	8,35	0,02
Bloques	3	1,38	0,46	0,25	0,86
Error	6	11,26	1,88		

## 3. SEPARACIÓN DE MEDIAS SEGÚN TUKEY AL 5%, POR EFECTO DEL NIVEL DE BIOCHAR.

Biochar	Media	Grupo
10 Tn/ha	12,08	b
20 Tn/ha	15,10	a
30 Tn/ha	15,80	a

## 4. ANALISIS DE VARIANZA DE LA PRODUCCION EN FORRAJE VERDE

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	31,36	15,68	11,16	0,004
Residuos	9	12,65	1,41		
Total	11	44,00			

Anexo 6. Evaluación producción de materia seca (Tn/ha/año), de la alfalfa *Medicago sativa* en el primer corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).

### 1. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Biochar	REPETICIONES			
	I	II	III	IV
10 Tn/ha	27,97	23,68	27,04	28,98
20 Tn/ha	31,56	26,74	32,03	32,86
30 Tn/ha	35,50	34,00	29,70	34,30

### 2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ADEVA).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fisher	p-valor
Total	11	142,50	12,95		
Niveles de biochar	2	84,52	42,26	9,17	0,02
Bloques	3	30,34	10,11	2,20	0,19
Error	6	27,64	4,61		

### 3. SEPARACIÓN DE MEDIAS SEGÚN TUKEY AL 5%, POR EFECTO DEL NIVEL DE BIOCHAR.

Biochar	Media	Grupo
10 Tn/ha	26,92	b
20 Tn/ha	30,80	ab
30 Tn/ha	33,38	a

### 4. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA REGRESIÓN

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	84,52	42,26	6,56	0,02
Residuos	9	57,98	6,44		
Total	11	142,50			

Anexo 7. Evaluación número de tallos por planta, de la alfalfa *Medicago sativa* en el primer corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).

### 1. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Biochar	REPETICIONES			
	I	II	III	IV
10 Tn/ha	47,20	49,20	46,00	47,20
20 Tn/ha	43,30	48,50	53,30	33,80
30 Tn/ha	45,00	41,20	31,20	45,00

### 2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ADEVA).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fisher	p-valor
Total	11	435,77	39,62		
Niveles de biochar	2	93,88	46,94	0,91	0,45
Bloques	3	32,00	10,67	0,21	0,89
Error	6	309,88	51,65		

### 3. SEPARACIÓN DE MEDIAS SEGÚN TUKEY AL 5%, POR EFECTO DEL NIVEL DE BIOCHAR.

Biochar	Media	Grupo
10 Tn/ha	47,4	a
20 Tn/ha	44,73	a
30 Tn/ha	40,6	a

Anexo 8. Evaluación número de hojas por tallo, de la alfalfa *Medicago sativa* en el primer corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).

### 1. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Biochar	REPETICIONES			
	I	II	III	IV
10 Tn/ha	97,30	98,30	98,30	98,50
20 Tn/ha	92,20	93,50	96,50	92,50
30 Tn/ha	92,50	104,80	108,80	107,70

### 2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ADEVA).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fisher	p-valor
Total	11	372,53	33,87		
Niveles de biochar	2	191,67	95,84	6,08	0,04
Bloques	3	86,34	28,78	1,83	0,24
Error	6	94,52	15,75		

### 3. SEPARACIÓN DE MEDIAS SEGÚN TUKEY AL 5%, POR EFECTO DEL NIVEL DE BIOCHAR.

Biochar	Media	Grupo
10 Tn/ha	98,10	ab
20 Tn/ha	93,68	b
30 Tn/ha	103,45	a

### 4. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA REGRESIÓN

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	191,67	95,84	4,77	0,04
Residuos	9	180,86	20,10		
Total	11	372,53			

Anexo 9. Evaluación del tiempo a la prefloración de la alfalfa *Medicago sativa* en el segundo corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).

## 1. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Biochar	REPETICIONES			
	I	II	III	IV
10 Tn/ha	45,00	43,00	46,00	45,00
20 Tn/ha	38,00	41,00	42,00	43,00
30 Tn/ha	41,00	42,00	40,00	43,00

## 2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ADEVA).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fisher	p-valor
Total	11	56,92	5,17		
Niveles de biochar	2	33,17	16,58	6,71	0,03
Bloques	3	8,92	2,97	1,20	0,39
Error	6	14,83	2,47		

## 3. SEPARACIÓN DE MEDIAS SEGÚN TUKEY AL 5%, POR EFECTO DEL NIVEL DE BIOCHAR.

Biochar	Media	Grupo
10 Tn/ha	44,75	a
20 Tn/ha	41,00	b
30 Tn/ha	41,50	b

## 4. ANÁLISIS DE LA VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	33,17	16,58	6,28	0,02
Residuos	9	23,75	2,64		
Total	11	56,92			

Anexo 10. Evaluación de la cobertura basal de la alfalfa *Medicago sativa* en el segundo corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).

### 1. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Biochar	REPETICIONES			
	I	II	III	IV
10 Tn/ha	35,20	39,20	39,80	44,60
20 Tn/ha	35,60	36,00	40,20	37,80
30 Tn/ha	35,00	39,00	41,80	42,00

### 2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ADEVA).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fisher	p-valor
Total	11	102,49	9,32		
Niveles de biochar	2	12,74	6,37	1,94	0,22
Bloques	3	70,09	23,36	7,13	0,02
Error	6	19,66	3,28		

### 3. SEPARACIÓN DE MEDIAS SEGÚN TUKEY AL 5%, POR EFECTO DEL NIVEL DE BIOCHAR.

Biochar	Media	Grupo
10 Tn/ha	39,70	a
20 Tn/ha	37,40	a
30 Tn/ha	39,45	a

Anexo 11. Evaluación de la cobertura aérea de la alfalfa *Medicago sativa* en el segundo corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).

## 1. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Biochar	REPETICIONES			
	I	II	III	IV
10 Tn/ha	79,65	78,40	79,80	79,40
20 Tn/ha	86,60	82,00	89,60	83,40
30 Tn/ha	81,60	88,80	89,20	86,60

## 2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ADEVA).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fisher	p-valor
Total	11	193,44	17,59		
Niveles de biochar	2	121,02	60,51	7,56	0,02
Bloques	3	24,40	8,13	1,02	0,45
Error	6	48,02	8,00		

## 3. SEPARACIÓN DE MEDIAS SEGÚN TUKEY AL 5%, POR EFECTO DEL NIVEL DE BIOCHAR.

Biochar	Media	Grupo
10 Tn/ha	79,31	b
20 Tn/ha	85,40	ab
30 Tn/ha	86,55	a

## 4. ANÁLISIS DE LA VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	121,02	60,51	7,52	0,01
Residuos	9	72,42	8,05		
Total	11	193,44			

Anexo 12. Evaluación de la altura de la planta de la alfalfa *Medicago sativa* en el segundo corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).

### 1. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Biochar	REPETICIONES			
	II	III	IV	II
10 Tn/ha	88,17	83,83	82,67	81,33
20 Tn/ha	88,67	83,50	93,17	83,33
30 Tn/ha	93,83	91,33	99,83	96,67

### 2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ADEVA).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fisher	p-valor
Total	11	410,90	37,35		11
Niveles de biochar	2	277,93	138,97	11,94	2
Bloques	3	63,15	21,05	1,81	3
Error	6	69,81	11,64		6

### 3. SEPARACIÓN DE MEDIAS SEGÚN TUKEY AL 5%, POR EFECTO DEL NIVEL DE BIOCHAR.

Biochar	Media	Grupo
10 Tn/ha	84,00	b
20 Tn/ha	87,17	b
30 Tn/ha	95,42	a

### 4. ANÁLISIS DE LA VARIANZA

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2,00	277,93	138,97	9,41	0,01
Residuos	9,00	132,97	14,77		
Total	11,00	410,90			

Anexo 13. Evaluación producción de forraje verde (Tn/ha/corte), de la alfalfa *Medicago sativa* en el segundo corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).

### 1. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Biochar	REPETICIONES			
	I	II	III	IV
10 Tn/ha	12,09	11,82	12,73	11,59
20 Tn/ha	15,91	13,64	16,82	16,09
30 Tn/ha	14,55	16,82	15,45	16,86

### 2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ADEVA).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fisher	p-valor
Total	11	47,11	4,28		
Niveles de biochar	2	36,91	18,45	13,35	0,006
Bloques	3	1,91	0,64	0,46	0,72
Error	6	8,30	1,38		

### 3. SEPARACIÓN DE MEDIAS SEGÚN TUKEY AL 5%, POR EFECTO DEL NIVEL DE BIOCHAR.

Biochar	Media	Grupo
10 Tn/ha	12,06	b
20 Tn/ha	15,61	a
30 Tn/ha	15,92	a

### 4. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE LA REGRESIÓN

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	36,91	18,45	16,28	0,001
Residuos	9	10,20	1,13		
Total	11	47,11			

Anexo 14. Evaluación producción de materia seca (Tn/ha/año), de la alfalfa *Medicago sativa* en el segundo corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).

### 1. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Biochar	REPETICIONES			
	I	II	III	IV
10 Tn/ha	29,30	24,40	26,27	24,49
20 Tn/ha	32,94	28,36	34,83	33,46
30 Tn/ha	33,03	34,83	32,14	34,81

### 2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ADEVA).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fisher	p-valor
Total	11	176,45	16,04		
Niveles de biochar	2	131,63	65,82	11,58	0,01
Bloques	3	10,73	3,58	0,63	0,6234
Error	6	34,09	5,68		

### 3. SEPARACIÓN DE MEDIAS SEGÚN TUKEY AL 5%, POR EFECTO DEL NIVEL DE BIOCHAR.

Biochar	Media	Grupo
10 Tn/ha	26,12	b
20 Tn/ha	32,40	a
30 Tn/ha	33,70	a

### 4. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA REGRESION

Regresión	2	131,63	65,82	13,22	0,002
Residuos	9	44,82	4,98		
Total	11	176,45			

Anexo 15. Evaluación número de tallos por planta, de la alfalfa *Medicago sativa* en el segundo corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).

### 1. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Biochar	REPETICIONES			
	I	II	III	IV
10 Tn/ha	43,00	41,00	39,00	37,00
20 Tn/ha	49,00	47,00	44,00	39,00
30 Tn/ha	41,00	52,00	45,00	42,00

### 2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ADEVA).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fisher	p-valor
Total	11	214,25	19,48		
Niveles de biochar	2	63,50	31,75	2,92	0,13
Bloques	3	85,58	28,53	2,63	0,15
Error	6	65,17	10,86		

### 3. SEPARACIÓN DE MEDIAS SEGÚN TUKEY AL 5%, POR EFECTO DEL NIVEL DE BIOCHAR.

Biochar	Media	Grupo
10 Tn/ha	40,00	a
20 Tn/ha	44,75	a
30 Tn/ha	45,00	a

Anexo 16. Evaluación número de hojas por tallo, de la alfalfa *Medicago sativa* en el segundo corte mediante la aplicación de diferentes niveles de biochar (carbón vegetal).

### 1. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Biochar	REPETICIONES			
	I	II	III	IV
10 Tn/ha	98,00	97,00	94,00	99,00
20 Tn/ha	108,00	102,00	105,00	95,00
30 Tn/ha	105,00	117,00	112,00	110,00

### 2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ADEVA).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Fisher	p-valor
Total	11	579,00	52,64		
Niveles de biochar	2	398,00	199,00	7,62	0,02
Bloques	3	24,33	8,11	0,31	0,82
Error	6	156,67	26,11		

### 3. SEPARACIÓN DE MEDIAS SEGÚN TUKEY AL 5%, POR EFECTO DEL NIVEL DE BIOCHAR.

Biochar	Media	Grupo
10 Tn/ha	97,00	b
20 Tn/ha	102,50	ab
30 Tn/ha	111,00	a

### 4. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA REGRESIÓN

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	398,00	199,00	9,90	0,01
Residuos	9	181,00	20,11		
Total	11	579,00			