

**fectos del biocarbón como enmienda del suelo sobre el crecimiento y productividad del
fríjol cabecita negra (*Vigna unguiculata*)**

Javier Mauricio Pabón Santander

Trabajo de grado para obtener el título de biólogo

Director

Björn Reu

Ph.D. en Biología

Codirector

Nelson Facundo Rodríguez López

Ph.D.. en Fisiología vegetal

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Biología

Bucaramanga

2018

Agradecimientos

A mi Familia por su incondicionalidad y apoyo, especialmente a mis Tías.

Al profesor Björn Reu por la confianza y el apoyo incondicional durante el desarrollo de la
Pasantía.

A los compañeros que amablemente me colaboraron con sus asesorías.

A la Universidad Industrial de Santander y a los docentes de la escuela de Biología en
especial al profesor Fernando Rondón por su contribución en mi proceso de formación
profesional y personal.

Contenido

	Pág.
Introducción	13
2. Objetivos	19
2.1 Objetivo general	19
2.2 Objetivos específicos	19
3. Materiales y métodos	20
3.1 Obtención de Biocarbón	20
3.2 Preparación de sustratos.....	21
3.3 Diseño experimental	22
3.4 Análisis de datos	25
4. Resultados	26
4.1 Respuestas de las variables de crecimiento a los diferentes tratamientos	27
4.1.1 Tallo y raíz	29
4.1.2. Peso seco de tallo y raíz	30
4.1.3. Presencia de nódulos.....	30
4.1.4. Longitud de las vainas	31
4.2 Efectos del biocarbón como enmienda al crecimiento de <i>Vigna Unguiculata</i>	32
4.3 Variacion temporal en el crecimiento	38
4.3.1. Altura de la planta.....	38

4.3.2. Diámetro de la planta	38
4.3.3. Número de hojas	39
4.3.4. Producción de vainas	39
5. Discusión.....	44
5.1 Efecto del biocarbón como enmienda del suelo	44
5.2 Efecto del biocarbón al crecimiento de <i>Vigna unguiculata</i>	45
5.2.1. Longitud y volumen de raíz	45
5.2.2. Diámetro del tallo	46
5.2.3. Influencia del humus y biocarbón en la producción de flores y vainas	47
6. Conclusiones	48
Referencias Bibliográficas	49
Apéndices.....	55

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Análisis de suelo.....	22
Tabla 2. Tipo y composición de los tratamientos, para evaluar el crecimiento y la productividad en la especie <i>Vigna unguiculata</i>	23
Tabla 3. Variables, unidad de medición e instrumentación consideradas para encontrar diferencias entre tratamientos.	24
Tabla 4. Comparación entre pares de los tratamientos correspondientes a las variables utilizadas. p-valor ANOVA:(Longitud del tallo <0.001, Longitud de raíz<0.001, Longitud de vainas<0.001, N° de nódulos<0.001, Volumen de raíz<0.001, Peso tallo seco<0.0	33

Lista de Figura

	Pág.
Figura 1. Construcción y ensamble de un pirolizador artesanal (Instalaciones de planta física de la Universidad Industrial de Santander-Colombia).....	21
Figura 2. Gráficos de violín, demostrando la distribución de las variables entre los distintos tratamientos, (a) longitud del tallo, (b) longitud de la raíz, (c) peso del tallo en seco y (d) peso de la raíz en seco. (A: Tierra sola 100%, B: Tierra sola, humus 70%-30%, C: Tierra sola, Biocarbón 92%-8%, D: Tierra sola, humus Y biocarbón (% bajo) 68%-28%-4%, E: Tierra sola, humus Y biocarbón (% medio) 66%-26%-8%, F: Tierra sola, humus Y biocarbón (% alto) 62%-22%-16%).....	27
Figura 3. Gráficos de violín, demostrando la distribución de las variables entre los distintos tratamientos, (a) longitud de la vaina, (b) número de nódulos, (c) peso vaina seca, (d) peso de hoja seco. (A: Tierra sola 100%, B: Tierra sola, humus 70%-30%, C: Tierra sola, Biocarbón 92%-8%, D: Tierra sola, humus Y biocarbón (% bajo) 68%-28%-4%, E: Tierra sola, humus Y biocarbón (% medio) 66%-26%-8%, F: Tierra sola, humus Y biocarbón (% alto) 62%-22%-16%).....	28
Figura 4. A-B. Contribución de biocarbón y la interacción de ambos al crecimiento de las diferentes variables estudiadas a partir de un análisis de covarianza (y~biocarbón*humus). (A: Tierra sola 100%, B: Tierra sola, humus 70%-30%, C: Tierra sola, Biocarbón 92%-8%, D: Tierra	

sola, humus Y biocarbón (% bajo) 68%-28%-4%, E: Tierra sola, humus Y biocarbón (% medio) 66%-26%-8%, F: Tierra sola, humus Y biocarbón (% alto) 62%-22%-16%). 37

Figura 5. Cambio en la tasa de crecimiento de la altura de la planta a través del tiempo.

Intervalo de confianza de todos los tratamientos con respecto a la altura de la planta. (A: Tierra sola 100%, B: Tierra sola, humus 70%-30%, C: Tierra sola, Biocarbón 92%-8%, D: Tierra sola, humus Y biocarbón (% bajo) 68%-28%-4%, E: Tierra sola, humus Y biocarbón (% medio) 66%-26%-8%, F: Tierra sola, humus Y biocarbón (% alto) 62%-22%-16%). 40

Figura 6. Cambio en la tasa de crecimiento del diámetro del tallo a través del tiempo. Intervalo de confianza de todos los tratamientos con respecto al crecimiento del diámetro del tallo. (A: Tierra sola 100%, B: Tierra sola y humus 70%-30%, C: Tierra sola y Biocarbón 92%-8%, D: Tierra sola, humus y biocarbón (% bajo) 68%-28%-4%, E: Tierra sola, humus y biocarbón (% medio) 66%-26%-8%, F: Tierra sola, humus y biocarbón (% alto) 62%-22%-16%). 41

Figura 7. Cambio en la tasa de crecimiento en el número de vainas a través del tiempo. Intervalo de confianza de todos los tratamientos con respecto al crecimiento en el número de vainas. (A: Tierra sola 100%, B: Tierra sola y humus 70%-30%, C: Tierra sola y Biocarbón 92%-8%, D: Tierra sola, humus y biocarbón (% bajo) 68%-28%-4%, E: Tierra sola, humus y biocarbón (% medio) 66%-26%-8%, F: Tierra sola, humus y biocarbón (% alto) 62%-22%-16%). 42

Figura 8. Cambio en la tasa de crecimiento en el número de hojas a través del tiempo. Intervalo de confianza de todos los tratamientos con respecto al número de hojas. (A: Tierra sola 100%, B: Tierra sola y humus 70%-30%, C: Tierra sola y Biocarbón 92%-8%, D: Tierra sola, humus y biocarbón (% bajo) 68%-28%-4%, E: Tierra sola, humus y biocarbón (% medio) 66%-26%-8%, F: Tierra sola, humus y biocarbón (% alto) 62%-22%-16%). 43

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Fotos del experimento en estado de germinación de semillas (4 semillas por matera)	55
Apéndice B. Se deja un individuo por matera en la experimentación	57
Apéndice C. Experimento después de 30 días	58
Apéndice D. <i>Gráficos test de tukey</i>	61

Resumen

TÍTULO: EFECTOS DEL BIOCARBÓN COMO ENMIENDA DEL SUELO SOBRE EL CRECIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD DEL FRÍJOL CABECITA NEGRA (*VIGNA UNGUICULATA*)*

AUTOR: Javier Mauricio Pabón Santander**

PALABRAS CLAVE: Biocarbón, pirólisis, Enmienda al suelo, *Vigna unguiculata*, fertilización

DESCRIPCIÓN:

Se evaluó los efectos del biocarbón como enmienda en el crecimiento y producción con plantas de *Vigna unguiculata*, una especie de frijol de la familia *Fabaceae* de rápido crecimiento, bajo condiciones de invernadero. La obtención del biocarbón se realizó por medio de la descomposición química de material vegetal, mediante el proceso de pirólisis, que es causado por el calentamiento a altas temperaturas en ausencia de oxígeno. El objetivo del trabajo fue evaluar los efectos del biocarbón como enmienda, para lo cual se utilizó un diseño experimental en materas con 6 tratamientos y 10 repeticiones con diferentes porcentajes de sustratos de tierra, humus y biocarbón, con el fin de realizar un estudio comparativo. Las variables utilizadas para la medición fueron la altura, área foliar, diámetro del tallo, longitud de raíz, volumen de raíz, biomasa seca foliar, biomasa seca del tallo, biomasa de raíz, número de nódulos y biomasa total. Se pudo observar un efecto positivo de la enmienda con biocarbón en combinación con humus que ayudó a mejorar la fertilidad del sustrato, esta combinación favorece al incrementar la altura de las plantas, longitud de las raíces, y el peso seco de la biomasa de la especie en estudio, aunque el volumen de raíz en el tratamiento que tenía más porcentaje de biocarbón no fue tan alto como en los tratamientos que presentaban porcentaje medio y bajo de biocarbón. Nuestra experimentación apuntó a la importancia de trabajar en combinación biocarbón y humus para obtener mejores resultados en el desarrollo y producción de semillas.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ciencias, Escuela de Biología, Director Björn Reu Ph.D. en Biología Codirector Nelson Facundo Rodríguez López Ph.D.. en Fisiología vegetal

Abstract

TITLE: EFFECTS OF BIOCHAR AS SOIL AMENDMENT ON THE GROWTH AND PRODUCTIVITY OF BLACK EYE PEAS (*Vigna Unguiculata*)*

AUTHOR: Javier Mauricio Pabón Santander**

KEY WORDS: Biocarbon, pyrolysis, soil amendment, *Vigna unguiculata*, fertilization

DESCRIPTION:

The effects of biochar as an amendment on growth and production were evaluated with plants of *Vigna unguiculata*, a bean species of the *Fabaceae* family of fast growth, under greenhouse conditions. The biochar was obtained through the chemical decomposition of plant material, through a pyrolysis process, which is caused by heating at high temperatures in the absence of oxygen. The objective of the work was to evaluate the effects of biochar as an amendment, for which an experimental design was used in pots with 6 treatments and 10 repetitions with different percentages of substrates of earth, humus and biochar, in order to carry out a comparative study. The variables used for the measurement were height, leaf area, stem diameter, root length, root volume, dry foliar biomass, dry stem biomass, root biomass, number of nodules and total biomass. It was observed a positive effect of the amendment with biochar in combination with humus that helped to improve the fertility of the substrate, this combination favors by increasing the height of the plants, length of the roots, and the dry weight of the biomass of the species under study, although the root volume in the treatment that had the highest percentage of biochar was not as high as in the treatments that presented a medium and low percentage of biochar. Our experimentation pointed to the importance of working a combination of biochar and humus to obtain better results in the development and production of seeds.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ciencias, Escuela de Biología, Director Björn Reu Ph.D. en Biología Codirector Nelson Facundo Rodríguez López Ph.D.. en Fisiología vegetal

Introducción

¿Qué es el biocarbón?

El biocarbón es un producto sólido de textura porosa, de origen vegetal y su obtención se hace mediante el método de pirólisis, el cual corresponde a un proceso de descomposición térmica de material orgánico vegetal (biomasa) a causa de su calentamiento con un aporte limitado de oxígeno a temperaturas inferiores a los 700°C, que convierte la materia orgánica en una forma de carbón con características que le dan estabilidad al suelo y la capacidad para perdurar durante cientos o miles de años (ONU, 2011; Lehmann y Joseph, 2009). Los materiales que se utilizan para producir biocarbón provienen de la biomasa vegetal (madera, hojas), por esta razón dependiendo de la biomasa utilizada dependerá el tipo y calidad de biocarbón (Krull *et al.*, 2010). La estabilidad del biocarbón frente al uso de otro tipo de enmiendas orgánicas aplicadas al suelo dependiendo de su estructura y composición lo hace especial por su importante aporte en el mantenimiento de los nutrientes a largo plazo (Lehmann *et al.*, 2009), por este motivo los estudios realizados con biocarbón como enmienda respaldan la forma de conseguir y mantener niveles adecuados de material orgánico y nutrientes en los suelos (Steiner *et al.*, 2007; Kimetu *et al.*, 2008), cuya retención de nutrientes mantienen y mejoran sus propiedades, haciéndolos más eficientes para el crecimiento de la planta (Downie *et al.*, 2007; Dünisch *et al.*, 2007). La porosidad del biocarbón representa gran importancia, pues sus micro, meso y macroporos pueden ser hábitat de microorganismos (Rouquerol *et al.*, 1999; Downie *et al.*, 2009). Esto ha permitido reconocer los beneficios que podría aportar el uso de enmiendas con biocarbón, las cuales favorecen la presencia de carbono orgánico (Glaser *et al.*, 2001). La aplicación de biocarbón a suelos con déficit de

nutrientes ha demostrado efectos positivos, y entre ellos la facultad de retención de fósforo (P) (Kong et al., 2014; Zhang et al., 2016). También, se ha evidenciado que la adición de biocarbón disminuye la pérdida de nitrógeno (N) por efectos de lixiviación en los suelos agrícolas, lo que ayudaría a disminuir la demanda de fertilizantes nitrogenados, para el crecimiento de los cultivos (Zheng et al., 2013). El biocarbón actúa mejorando sus características al favorecer la retención de nutrientes, lo cual a su vez reduce tanto las pérdidas por lixiviación (Major, 2010), como la contaminación de aguas subterráneas por fertilizantes (Lehmann et al., 2003). Por otra parte, el biocarbón permite que haya igual rendimiento en cosechas en comparación con aquellos cultivos a los que se les aplican dosis de fertilización óptimas (Sohi et al., 2009). En este sentido, el uso de biocarbón se ha relacionado de manera positiva con el buen crecimiento de las plantas, y el aumento en la productividad de cultivos (Fowles, 2007; Glaser et al., 2000). De la misma manera las propiedades fisicoquímicas del biocarbón pueden causar cambios en la disponibilidad de los nutrientes del suelo y la disponibilidad de C, proporcionando protección física a microorganismos contra depredadores y desecación; esto puede alterar la diversidad microbiana y la taxonomía del suelo (Lehman et al., 2011). El biocarbón es importante tanto en el suministro, como en el secuestro de carbono (Lehmann et al., 2006; Xu et al., 2012), y posee gran capacidad de retención de agua debido en gran parte a su porosidad (Brewer et al., 2009; Abel et al., 2013; Ulyett et al., 2014) y capacidad de intercambio catiónico (Feller y Beare, 1997), lo anterior, indica una elevada área superficial específica (Lehmann y Joseph 2009, 2015), propiedad que determina la capacidad del biocarbón para retener iones en su superficie (Kookana et al., 2011; Graber et al., 2012).

Historia de biocarbón como enmienda

A través del tiempo, el hombre, con el fin de satisfacer su necesidad de alimentación y la de sus animales en todo el planeta ha buscado diferentes métodos para poder aumentar la fertilidad en los

suelos y mejorar la calidad en sus cultivos de manera orgánica. Entre los ejemplos más destacados de suelos enriquecidos por humanos con biocarbón está el de los grupos indígenas amazónicos en el siglo XVI. En estas tierras se presentaban suelos con muy baja fertilidad debido a fuertes procesos de meteorización, que provocaron una baja capacidad de intercambio catiónico y suelos ácidos con valores de pH bajos que afectaron su estabilidad por una intensa eliminación de sílice y bases por lixiviación (Soares et al., 2005), y con niveles de hierro y aluminio elevados también como consecuencia de la meteorización continua de minerales que contienen aluminio de alta actividad, como la vermiculita con hidroxilo (Marques et al., 2002; Lima et al., 2006). Como solución a esto adicionaron dosis moderadas de biocarbón para obtener suelos fértiles que podrían ser muy benéficos y sostenibles capaces de mejorar la calidad del suelo y aumentar el rendimiento en las plantas la cual se conoce como “Terra Preta”, término en portugués que significa “Tierra Negra” (Iswaran et al., 1980; Lehmann et al., 2003a). Las altas concentraciones del carbón que estos producían para sus tierras eran provenientes de quemas controladas, incendios, carbón de cocina y esqueletos de animales como pescados (Glaser et al., 2001). Hay una fuerte evidencia de que estos suelos aparte de contener mayores concentraciones de nutrientes como N, P y Ca, también contienen material orgánico estable en el suelo, sugiriendo en estudios que suelos de “Terra Preta” contenían carbono aromático y que una parte corresponde a carbono negro (Haumaier y Zech, 1995; Skjemstad et al., 1996; Golchin et al., 1997; Schmidt et al., 1999; Schmidt y Noack, 2000), que es el resultado de las plantas que han sido quemadas y que producen materia orgánica aromática altamente refractaria que se combina con el suelo (Seiler y Crutzen 1980; Golchin et al., 1997). En este tipo de suelos se ha encontrado que poseen características fisicoquímicas en su composición, que lo hacen muy fértil en relación con otros suelos adyacentes (Andrade y Botero, 1984; Sombroek et al., 2003; Arroyo-Kalim, 2010; Arroyo-Kalim, 2012);

presentando contenidos de carbono y materia orgánica elevados y con efectos marcados sobre las plantas. Estos son resultados de cientos de años de formación y evolución que dejaron suelos ricos en material orgánico, nutrientes y microorganismos (Glaser et al., 2001, Lehmann, 2009). Debido a su estructura aromática policíclica, el biocarbón es fisicoquímicamente estable. La estabilidad del biocarbón, se debe a que una fracción de su carbono es resistente a la descomposición microbiana y a la mineralización, lo que lo vuelve una herramienta importante en el secuestro de carbono (Lehmann y Joseph, 2009; Gaunt y Cowie, 2009). Sin embargo, se han hecho numerosos estudios para observar y entender la relación entre la fertilidad del suelo y las prácticas de su uso.

Biocarbón como mejora del suelo

La desertificación y degradación de los suelos es un problema mundial como consecuencia de la alteración climática y el inadecuado manejo de las actividades antrópicas. Para mitigar los procesos de desertificación del suelo, la obtención y el uso de biocarbón se constituye en una alternativa de gran impacto para el mejoramiento y recuperación de suelos (Sohl et al., 2009), donde el aumento de materia orgánica permitirá obtener beneficios similares a los conocidos por la aplicación de enmiendas orgánicas (Krull et al., 2004).

En Colombia, aproximadamente, un 24% de los suelos es susceptible a la desertificación y un 0.7% ya presentan procesos de desertificación (IDEAM, 2012). Los suelos que se encuentran expuestos a procesos de degradación y en mayor grado de desertificación se hallan en La Guajira, la cuenca alta del río Chicamocha- Boyacá y Santander, además, los valles interandinos y las sabanas de Sucre, Córdoba y Cesar, (CCE 2002; AEMA 2002; Gómez-Carlos et al., 2010). Estudios en laboratorio y en campo han demostrado que las aplicaciones de biocarbón aumentan los rendimientos en muchos cultivos de diferentes especies (Leshman y Rondón., 2006) y mejoran la disponibilidad en suelos bajos en nutrientes (Leshman et al., 2003). En Colombia se han hecho

estudios de fijación biológica del nitrógeno con la especie de frijol *Phaseolus vulgaris*, observando que aumenta con adiciones de biocarbón (Rondón, 2006).

En Santander, la mayor vulnerabilidad a la desertificación y degradación del suelo se encuentra en algunas zonas agrícolas de cultivos transitorios como los municipios ubicados en la provincia Guanentina y otros como Lebrija, cercano al Área Metropolitana de Bucaramanga y con gran importancia como proveedores agrícolas. En este trabajo se evaluará si la aplicación de biocarbón obtenido a partir de la biomasa residual de árboles urbanos contribuye en el crecimiento y productividad en plantas de *Vigna unguiculata* a través de un experimento. Esta especie de planta leguminosa pertenece a la familia *Fabaceae* y sus hojas están compuestas por trifolios, también presenta un crecimiento rápido y en ocasiones es utilizada como forraje y es un tipo de planta por dichas características fácil de monitorear en el momento de la experimentación. Así pues, se espera encontrar diferencias significativas en la especie *Vigna unguiculata* en los diferentes tratamientos y los diferentes niveles de biocarbón. Bajo este marco de referencia, el estudio y aprovechamiento del biocarbón se sustenta en potenciar el crecimiento y producción en plantas.

Efectos del biocarbón en plantas

Diferentes estudios han evaluado los efectos de la utilización de biocarbón (sólo y en combinación con humus) en diferentes tipos de cultivos, obteniendo varios resultados, los cuales en general se soportan mutuamente. Dentro de los efectos se tiene el aumento de la productividad sobre el suelo en el rendimiento de los cultivos dependiendo de muchos factores como la calidad, cantidad de biocarbón aplicado, tipo de suelo y el tipo de cultivo (Abenza, 2012), por ejemplo, en estudios realizados con lechuga se observó el incremento en la absorción de nutrientes por la presencia de biocarbón en su sustrato y el mejoramiento que ocurre en suelos donde la pérdida de Nitrógeno es un problema (Carter et al., 2013). De la misma manera el aumento en la biomasa

microbiana del suelo y su eficacia es debido a que los microorganismos usan el carbono aromático como emisores y receptores de electrones durante las reacciones químicas metabólicas (Lovley et al., 1996), la cual produce un mejoramiento en la eficiencia metabólica como comunidad microbiana que mejora el crecimiento en las plantas (Kappler et al., 2014; Chen et al., 2014). En otros estudios se demostró que el biocarbón promueve la resistencia sistémica adquirida, induciendo a la planta a generar resistencia a patógenos (Elad et al., 2010). En cuanto a las cantidades que se deben aplicar para observar los efectos del biocarbón, se encontró que con cantidades menores a 3 Mg ha⁻¹ ningún efecto inmediato sobre el crecimiento de las plantas y la fertilidad del suelo puede ser estimado (Schulz et al., 2014). También se ha observado que, aunque estimula el crecimiento de las plantas, no sucede lo mismo con la producción del fruto en plantas con crecimiento indeterminado (p. ej. el tomate) (Vaccari et al., 2015). Aun así, las plantas de los cultivos tratados con biocarbón presentan una mayor área foliar, tallos más largos e inflorescencias más amplias, así como una mayor eficiencia en el uso de agua durante periodos de estrés (Paneque et al., 2016). La utilización del biocarbón sólo estimula el incremento del número de hojas, y la biomasa total, aumentando el contenido de nitrógeno, fósforo y carbono totales en el suelo, y mejorando las comunidades microbianas relacionadas. La combinación de biochar y compost no produce efectos aditivos, pero puede mejorar las características biofísicas y químicas del suelo, así como aumentar la productividad de los cultivos a través del tiempo (Trupiano et al., 2017).

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar los efectos del biocarbón en el crecimiento y producción de semillas en plantas de *Vigna unguiculata*.

2.2 Objetivos específicos

- Obtener biocarbón a partir de los recursos existentes de biomasa e infraestructura en el campus universitario.
- Determinar si hay un efecto positivo con la adición de biocarbón en el crecimiento de *Vigna unguiculata*.
- Determinar los efectos de la aplicación del biocarbón sobre el crecimiento considerando diferentes variables y la producción de semillas en plantas de *Vigna unguiculata*.

3. Materiales y métodos

3.1 Obtención de Biocarbón

La obtención de biocarbón, como producto principal de la pirólisis, se hizo a partir de la biomasa residual de las podas realizadas en árboles del campus central de la Universidad Industrial de Santander, con madera de plantas pertenecientes a la familia *Myrtaceae* del género *Psidium* (Guayabo). Para la obtención de biocarbón se construyó y ensambló un pirolizador artesanal para efectuar la técnica de pirólisis en las instalaciones de planta física de la Universidad Industrial de Santander (figura 1). El pirolizador fue construido con base a modelos artesanales hechos por comunidades brasileras. La pirólisis se efectuó en repetidas ocasiones antes del montaje experimental, y cada ensayo tuvo una duración aproximada de dos horas alcanzando una temperatura promedio de 500°C y para la toma de temperatura se utilizó un termómetro infrarrojo. Se cortó la madera a la misma medida para que su proceso nos pueda dar un biocarbón más homogéneo en su estructura. Las pruebas se llevaron a cabo en la planta de compostaje ubicada en la Universidad Industrial de Santander.



Figura 1. Construcción y ensamble de un pirolizador artesanal (Instalaciones de planta física de la Universidad Industrial de Santander-Colombia).

3.2 Preparación de sustratos

Para efectos de nuestro trabajo se utilizó un sustrato neutro que presenta un pH de 6.8, con contenidos bajos de materia orgánica y niveles más altos en fósforo. Presentando niveles estables en Sodio, Potasio y Calcio. La relación Calcio: Magnesio es desbalanceada y tiene una capacidad de intercambio catiónico bajo. La textura del sustrato proviene de un horizonte B, que tiene una presentación franco-arcilloso-arenoso proveniente de Lebrija-Santander-Colombia, previamente caracterizado en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Industrial de Santander (Tabla 1). Las combinaciones para el montaje de los diferentes tratamientos se realizaron con base a los porcentajes establecidos anteriormente (Tabla 2). Se utilizó materas plásticas que tenían una capacidad en volumen de 3500 cm³. Posteriormente, una vez se combinaron los sustratos se irrigaron hasta su saturación y luego de 96h se realizó la siembra de cuatro semillas/matera, de esta forma se escogió el individuo con mejores condiciones dejando solo uno por matera. (Apéndice C). Para lo cual escogimos el individuo con mejores condiciones para poder continuar con nuestra experimentación. Para esta prueba se evaluaron 6 tratamientos diferentes con diez réplicas cada uno, de los cuales tres de estos tratamientos contenían biocarbón en diferentes niveles, un

tratamiento contenía sólo tierra con biocarbón y un último tratamiento con tierra sin ninguna combinación que fue utilizada como control (Tabla 2). Con el fin de determinar la influencia de los componentes del sustrato sobre cada una de las variables se realizaron modelos lineales considerando la suma del humus y del biocarbón como enmienda, lo cual permite determinar el efecto (i.e. la pendiente) de la enmienda en las diferentes variables de crecimiento consideradas en el experimento. Vale la pena notar que no se puede realizar un análisis de varianza de dos vías, dado que el diseño del experimento no era cruzado entre humus y biocarbón.

Tabla 1.

Análisis de suelo.

Ph	% C	P (ppm)	Ca	Mg	Na	K	AL	% Arena	% Limo
6.8	0.34	50.8	5.59	0.39	0.11	0.33	NA	58	16
% Arcilla	Textura	B (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	S (ppm)	CIC (meq/100g)	CE
26	Franco- arcillo- arenoso	0.29	0.64	0.40	0.47	1.04	N.S.C	5.6	N.S.C

3.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental con 6 tratamientos, cada uno con diez repeticiones completamente aleatorizado. La unidad experimental es cada materia que contenía una planta. Los datos obtenidos en el experimento se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA, prueba F), y prueba comparación de medias (Prueba de Tuckey post-hoc).

Tabla 2.

Tipo y composición de los tratamientos, para evaluar el crecimiento y la productividad en la especie Vigna unguiculata.

TRATAMIENTOS	SUSTRATOS	% SUELO	% HUMUS	% BIOCARBÓN	N
A	Control 1: Tierra sola	100%	-	-	10
B	Control 2: Tierra sola + humus	70%	30%	-	10
C	Tierra sola + Biocarbón	92%	-	8%	10
D	Tierra sola + humus + biocarbón (% bajo)	68%	28%	4%	10
E	Tierra sola + humus + biocarbón (% medio)	66%	26%	8%	10
F	Tierra sola + humus + biocarbón (% alto)	62%	22%	16%	10

Para cumplir los objetivos presentados en el trabajo de investigación se realizó el ensayo de la parte experimental en el invernadero del laboratorio de ecofisiología vegetal perteneciente a la escuela de biología de la Universidad Industrial de Santander. Para efectos prácticos del trabajo, se utilizó la especie *Vigna unguiculata* perteneciente a la familia Fabaceae, una especie que se

conoce con diferentes nombres comunes como por ejemplo caupí, carilla, judía de careta, frijol de carita, chichere, chicharillo, fríjol cabecita negra, frijol de castilla entre otros. Es una especie de fríjol de rápido crecimiento, generalmente de tallos delgados, hojas trifoliadas de color verde, flores blancas amarillentas, su raíz presenta un sistema radicular profundo (Binder, 1997), es una leguminosa de alto valor nutritivo y en ocasiones es utilizado en cultivos como fijador de nitrógeno, aunque el uso de biocarbón en suelos muy degradados con plantas fijadoras de nitrógeno ayuda a eliminar esa limitante. Originaria de África e India, ampliamente cultivada en áreas tropicales y subtropicales (Carvalho et al., 2012), es utilizada como fuente de proteína, calorías, fibra, minerales y vitaminas en la alimentación de humanos y animales (Kabas et al., 2017). Su importancia en zonas tropicales la señala como una planta de fácil cultivo, adaptada al ecosistema tropical y alto valor nutricional (Boscán, 1987).

Tabla 3.

Variables, unidad de medición e instrumentación consideradas para encontrar diferencias entre tratamientos.

VARIABLES	UNIDAD DE MEDICIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICION
Altura de planta	Centímetros	Cinta métrica
Nº de hojas	Conteo	Observación
Diámetro de la base del tallo	Cm	Calibrador
Longitud de raíces	Cm	Cinta métrica
Volumen de raíces	cm ³	Probeta
Biomasa seca área foliar (Bf) (Posterior a cosecha)	Gramos	Balanza de precisión
Biomasa seca del tallo (Bt) (Posterior a cosecha)	Gramos	Balanza de precisión

VARIABLES	UNIDAD DE MEDICIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICION
Biomasa en raíz (Br) (Posterior a cosecha)	Gramos	Balanza de precisión
Biomasa total (Posterior a cosecha)	Gramos	Balanza de precisión
Número de vainas por planta	Conteo	Manual

3.4 Análisis de datos

Para conocer de forma gráfica la distribución de las variables y su posible relación entre los tratamientos se realizó violinplot, ya que este tipo de gráfico nos muestra en su interior un boxplot con sus respectivas características como la mediana, los cuartiles uno y tres, valores máximos y mínimos y además nos muestra los costados que me indican la representación de la densidad de frecuencias de las unidades con respecto a determinado intervalo.

Para determinar si existen diferencias significativas entre los 6 tratamientos para cada una de las variables se realizó un análisis de la varianza (Anova) y posteriormente se realizó un test post hoc de tukey con el fin de entender las diferencias entre pares de tratamientos.

Con el fin de determinar la influencia de los componentes del sustrato sobre cada una de las variables se realizaron modelos lineales considerando la covarianza (i.e. interacción) entre la enmienda de humus y biocarbón, lo cual permite repartir los efectos del biocarbón y del humus a la variación de las diferentes variables de crecimiento considerado en el experimento.

Por último, se realizaron gráficos de serie temporal evaluando las tasas de crecimiento (i.e. el cambio entre cada intervalo de tiempo). Se estimó la media y el intervalo de confiabilidad de

un 95% sobre réplicas dentro de un tratamiento con el fin de realizar una evaluación gráfica de la influencia del contenido de biocarbón en los tratamientos a través del tiempo.

4. Resultados

Se obtuvo biocarbón de la biomasa vegetal como producto final que se realizó por el método de pirólisis, el cual nos mostró al usarse y estar en combinación con tierra y humus, diferencias que destacan efectos positivos que pueden contribuir en el crecimiento y productividad en las plantas utilizadas. Los tratamientos con distintos niveles de biocarbón mostraron conductas diferentes con el transcurrir del tiempo.

En los primeros días los comportamientos fueron muy similares entre todos los tratamientos a excepción del tratamiento control, donde presentó deficiencias y diferencias con el resto de los tratamientos a partir de los días 15 y 20, notándose un retraso en su crecimiento.

Al de 30 días los tratamientos presentaron contrastes significativos entre algunos de ellos y se observó comportamientos positivos que nos permitió hacer diferenciaciones que aportan al tema de estudio. Luego de 45 días, nuestros tratamientos ya presentaban diferencias notables como en la variable de altura que al compararse nos indicaba cambios considerables producidos por los diferentes sustratos utilizados (Figura 5).

4.1 Respuestas de las variables de crecimiento a los diferentes tratamientos

El tratamiento A, que corresponde a nuestro tratamiento control, presentó un desarrollo lento, con poca área foliar, un tallo delgado con reducido diámetro y una longitud de tallo con un poco más de 15 cm, mostrando diferencias negativas con respecto a los otros tratamientos. La coloración de las hojas mostraron un verde más pálido, evidenciándose nuevamente el poco aporte nutricional de dicho tratamiento. Este tratamiento no mostró floraciones tal vez debido a su fuente nutricional bastante limitada al ser un sustrato de tierra infértil. Otro factor que se observó fue la contextura de la tierra arcillosa que lo hacía muy compacto y pudo influenciar en el crecimiento de la planta. (Apéndice C).

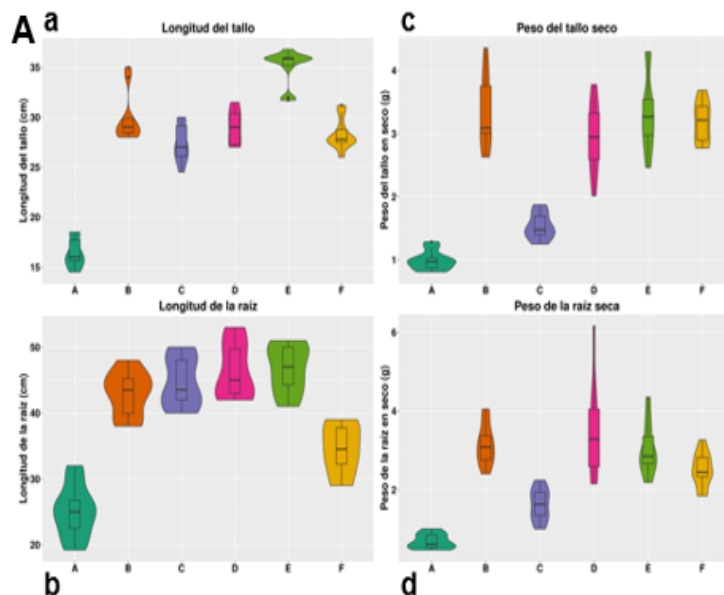


Figura 2. Gráficos de violín, demostrando la distribución de las variables entre los distintos tratamientos, (a) longitud del tallo, (b) longitud de la raíz, (c) peso del tallo en seco y (d) peso de la raíz en seco. (A: Tierra sola 100%, B: Tierra sola, humus 70%-30%, C: Tierra sola, Biocarbón 92%-8%, D: Tierra sola, humus Y biocarbón (% bajo) 68%-28%-4%, E: Tierra sola, humus Y biocarbón (% medio) 66%-26%-8%, F: Tierra sola, humus Y biocarbón (% alto) 62%-22%-16%).

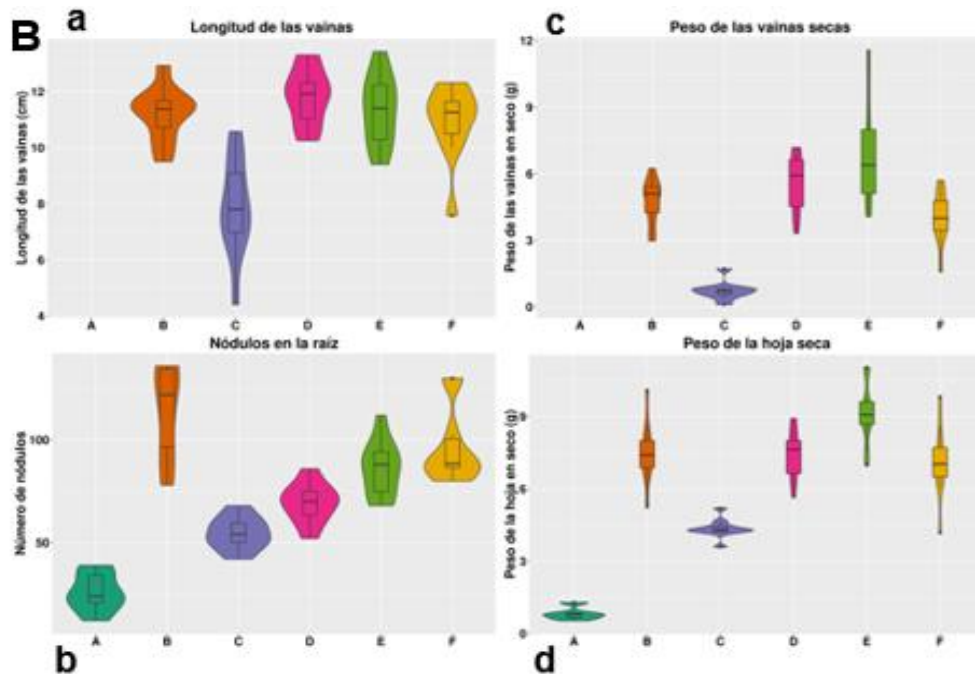


Figura 3. Gráficos de violín, demostrando la distribución de las variables entre los distintos tratamientos, (a) longitud de la vaina, (b) número de nódulos, (c) peso vaina seca, (d) peso de hoja seca. (A: Tierra sola 100%, B: Tierra sola, humus 70%-30%, C: Tierra sola, Biocarbón 92%-8%, D: Tierra sola, humus Y biocarbón (% bajo) 68%-28%-4%, E: Tierra sola, humus Y biocarbón (% medio) 66%-26%-8%, F: Tierra sola, humus Y biocarbón (% alto) 62%-22%-16%).

Caso contrario ocurrió con el tratamiento B, compuesto con sustrato de tierra y humus, la cual presentó un área foliar representativa, al igual que una floración y producción de vainas con buenas longitudes, sobresaliendo en la altura total de la planta con respecto a los otros tratamientos. El tratamiento tuvo un desarrollo normal a pesar de factores externos que afectaron todos los tratamientos como lo fue el hongo *Mildiu polvoso* y la presencia de *áfidos*.

Los tratamientos cuyo sustrato estaba compuesto por tierra, humus y biocarbón en diferentes niveles mostraron conductas similares, donde el que mejor se comportó con una respuesta positiva en el estudio de las variables fue el tratamiento E, el cual contenía tierra, humus y biocarbón nivel medio, mostrándonos una longitud y diámetro de tallo elevado, alta floración y mayor número de

vainas con respecto a los otros tratamientos. Manifestando un crecimiento positivo y óptimo que nos sugiere que tuvo buenas condiciones para su desarrollo (Apéndice C). Los tratamientos con sustrato de tierra, humus y biocarbón en alto y bajo contenido, presentaron un área foliar elevada, alta floración y número de vainas de buena longitud. Aunque el tratamiento F, con un nivel de biocarbón alto presentó el mayor número de hojas en la experimentación que los otros tratamientos. (Apéndice C). El tratamiento C, que es nuestro tratamiento con sustrato de tierra y biocarbón en ausencia de humus mostró un retraso en número de trifolios, con poca floración y por consiguiente un número más reducido de vainas con respecto a los tratamientos B, D, E y F. El crecimiento del diámetro y altura de la planta fue lento pero constante y mostró un crecimiento superior con respecto al tratamiento control. El sustrato de este tratamiento contiene tierra y biocarbón lo cual lo hace más poroso y oxigenado que el tratamiento A, y por consiguiente ayudó a las condiciones de crecimiento de las plantas, desarrollo floral y de frutos que nos sugiere que, sí hubo un aporte positivo, aunque más lento. (Apéndice C). En el siguiente se presenta los resultados de cada variable del crecimiento

4.1.1 Tallo y raíz La figura 2a, muestra la comparación entre los diferentes tratamientos utilizados con respecto a la variable longitud de tallo, en la cual nos muestra que el tratamiento E, presenta mayor medida con respecto a esta variable, indicándonos que la planta que creció en un sustrato con tierra, humus y biocarbón en un porcentaje medio producirá un tallo más largo. En los tratamientos B, C, D y F, se obtuvo longitudes de tallo altas, teniendo en cuenta que los tratamientos C y D, presentaron una distribución más uniforme entre las medias y la desviación estándar, y por último el tratamiento A, que corresponde al tratamiento control, presentó gran diferencia en la longitud del tallo, mucho menor con respecto a los otros tratamientos.

Igualmente, para la longitud de raíz (Figura 2b), el comportamiento de los tratamientos fue muy similar a la variable anteriormente mencionada, donde el tratamiento E, es el que presenta mayor longitud de raíz. Aunque en este caso se observó que el tratamiento C, compuesto por un sustrato de tierra y biocarbón presentó una longitud mayor con respecto al tratamiento F, que tenía como sustrato tierra, humus y biocarbón en un nivel alto, en la cual no favoreció el crecimiento de raíz.

4.1.2. Peso seco de tallo y raíz En el peso de tallo seco (figura 2c), los tratamientos que tenían como sustrato humus y biocarbón en diferentes niveles presentaron mayor peso de tallo seco obteniendo el tratamiento E, mejor comportamiento con esta variable. Mientras que el peso seco de raíz (Figura 2d), el tratamiento que tiene la mayor media es el tratamiento D, con variaciones muy grandes en pesos que se alejan de la media. El tratamiento C, y el tratamiento A, mostraron forma de violín, pero este último que corresponde al control presentó un peso menor que todos los tratamientos. El tratamiento B, presenta una mejor distribución y puede darnos a entender que tiene mayor peso seco de raíz (figura 2d), pero los resultados no van a variar tanto y van a tener datos cercanos a la media. Lo mismo ocurre con E, aunque presenta un estiramiento en cuanto a los datos mayores y donde la media se aleja un poco. En el tratamiento C, se observó una imagen más uniforme, lo que nos indica que los datos de este tratamiento nos llevarán a encontrar pesos menores de raíz seca, pero con poca variación. Presentando una mejor distribución en el espacio de una forma uniforme y más homogénea.

4.1.3. Presencia de nódulos Podemos observar efectos positivos en los tratamientos que contienen como sustrato tierra y humus (B) y el que contiene tierra, humus y biocarbón en nivel medio (E), el cual cumplen un papel muy importante para que se produzca este resultado; el humus

porque al poseer nitrógeno podría contribuir a que se presenten estos comportamientos al proporcionar un mejor desarrollo de las estructuras vegetales. El nitrógeno hace parte de los aminoácidos que son los que van a formar las proteínas y estas a su vez son las que van a llevar a cabo todas las funciones celulares, entonces una planta que tenga buena cantidad de nitrógeno en su sustrato para poder alimentarse se va desarrollar de buena manera, como en el caso del tratamiento B, que posee buena cantidad de nitrógeno, buen número de nódulos con bacterias fijadoras de nitrógeno que están asociadas a esa planta, lo que le permite asimilar mejor el nitrógeno para desarrollar sus estructuras.

4.1.4. Longitud de las vainas Se puede observar buena longitud de las vainas (figura 3a), también se presenta buen peso de las hojas (figura 3-d), gran cantidad de nódulos (figura 3b), lo que nos muestra valores altos y representativos frente a los demás tratamientos. Para el tratamiento E, se pudo ver que el desarrollo de las estructuras también es óptimo, de la misma manera presentó buena cantidad de nódulos que pudo haber influenciado en el desarrollo de sus estructuras en general proporcionando efectos positivos (figura 3b). Nuestros tres tratamientos que contienen como sustratos tierra, humus y biocarbón en diferentes niveles nos mostró que hay uno que es más óptimo para el desarrollo de las plantas según nuestros resultados y es donde las proporciones del humus y el biocarbón son 3 a 1, osea que hay 3 partes de humus por cada una de biocarbón. Podemos decir que gracias a la porosidad del biocarbón que le da al sustrato donde está la planta se puede procesar de una mejor manera los nutrientes contenidos en el humus, lo que nos sugiere que los nutrientes van a tener un mayor flujo sobre la planta lo que permitirá una longitud de vainas alta (figura 3c) y con mayor biomasa (figura 3d).

En general se observó un patrón similar de distribución al hacer comparaciones entre las variables. El tratamiento A, siempre mostró los menores valores en los contrastes de los tratamientos (a excepción de los datos de las vainas donde no se produjo), de la misma forma los datos se distribuyen siguiendo un patrón similar en el espacio. El tratamiento C, presenta las medias menores y la menor variación para casi todas las variables, puesto que, en la longitud de las vainas es el tratamiento con mayor variación, pero menor media. Los valores de los tratamientos B y E, suelen tener medias más altas y mejor comportamiento con los datos. Los tratamientos D y F, mostraron poca variación y presentaron una distribución más uniforme con comportamientos similares.

4.2 Efectos del biocarbón como enmienda al crecimiento de *Vigna Unguiculata*

Con el fin de comprobar las observaciones anteriores, se realizó un análisis de la varianza comparando cada una de las variables morfométricas sobre el crecimiento de las plantas a través de los diferentes tratamientos. Todas las variables demostraron una diferencia significativa de las medias entre tratamientos, por lo menos entre dos. En la prueba post-hoc de tukey se verificó, entre cuáles tratamientos se encontraron diferencias significativas (Tabla 4).

Tabla 4.

Comparación entre pares de los tratamientos correspondientes a las variables utilizadas. p-valor ANOVA:(Longitud del tallo <0.001, Longitud de raíz<0.001, Longitud de vainas<0.001, N° de nódulos<0.001, Volumen de raíz<0.001, Peso tallo seco<0.0

	Long. Tallo	Long. raíz	Long. vaina	Peso. tallo seco	Peso. raíz seca	Peso hoja seco	Peso vaina seco	Número Nódulos	Vol. Raíz
B-A	***	***	NA	***	***	***	NA	***	***
C-A	***	***	NA	.	*	***	NA	***	***
D-A	***	***	NA	***	***	***	NA	***	***
E-A	***	***	NA	***	***	***	NA	***	***
F-A	***	***	NA	***	***	***	NA	***	***
C-B	*		***	***	***	***	***	***	***
D-B	***							***	*
E-B						*	*	**	*
F-B	***	***							***
D-C			***	***	***	***	***		
E-C	***	***	***	***	***	***	***	***	
F-C		***	***	***	*	***	***	***	
E-D	***					*			
F-D		***			*			**	
F-E	***	***				**	***		
--- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1									

Al hacer las comparaciones entre tratamientos se encontró mayores diferencias entre los tratamientos considerando los diferentes tipos de sustrato y menores entre los niveles de enmienda con biocarbón (D, E, F). En el caso de la longitud del tallo y de raíz, mostraron que todos los tratamientos presentaban grandes diferencias frente al control, al igual que sus pesos, volumen de raíz y número de nódulos. Mientras que el tratamiento A, que corresponde al control y con sustrato de tierra sin ninguna enmienda, no desarrolló ni flores ni frutos en el tiempo de experimentación. Al comparar los tratamientos con sustrato que contenían tierra, humus y biocarbón en diferentes

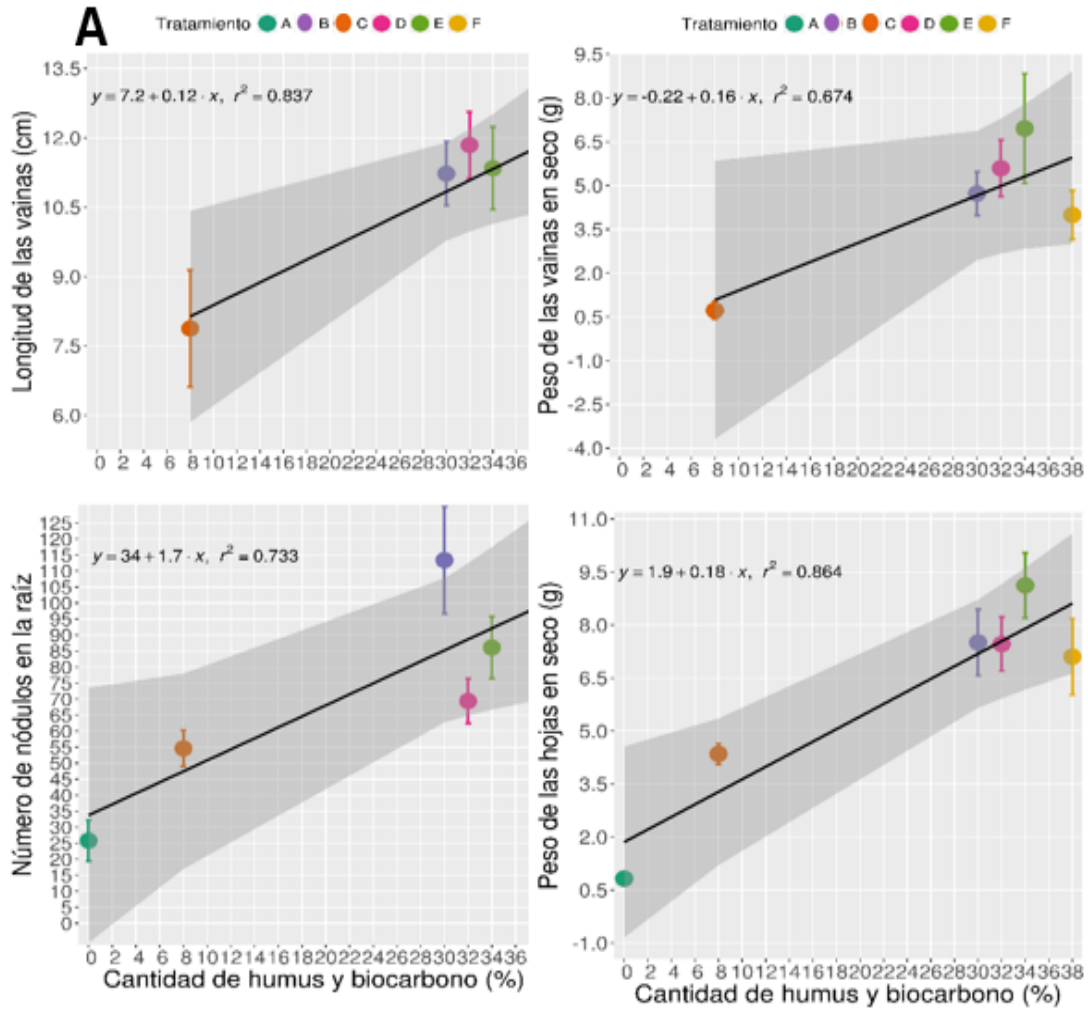
niveles fue el tratamiento E, el que presentó mayores diferencias con respecto al tratamiento D y F, mostrando contraste en la longitud de tallo y pesos de hoja y vaina.

En el caso del tratamiento A (control), con un sustrato constituido de tierra sola y el tratamiento C, con un sustrato de tierra y biocarbón sin humus, se pudieron observar diferencias significativas representativas que demuestran el aporte que el biocarbón puede hacer como enmienda, aunque no con la misma efectividad si estuviera acompañado con humus, como sucedió al confrontar el tratamiento C, con los tratamientos que contenían como sustrato tierra, humus y biocarbón (D-C, E-C y F-C), donde se evidenciaron diferencias significativas, lo que quiere decir que el uso de sustrato de tierra sola con biocarbón presentará diferencias en los resultados si se compara con los tratamientos con sustratos de tierra sola, humus y biocarbón en diferentes porcentajes, sea bajo, medio o alto, volviendo a insinuarse la importancia de la combinación del biocarbón con humus en el desarrollo de la planta.

También se observa que cuando se utiliza tierra sola con biocarbón y se compara con tierra sola, humus y biocarbón en porcentaje bajo, medio y alto vamos a tener diferencias significativas entre los diferentes porcentajes comparados con el tratamiento C. En la comparación con F-E, presentan diferencias significativas lo que quiere decir que, si se tiene tierra sola, humus y biocarbón en porcentaje alto se obtendrá un resultado diferente que no es tan favorable si se utiliza con un porcentaje medio. Para este caso el tratamiento A, no formó vainas, evidenciándose que el biocarbón sólo o combinado con humus aportan en gran medida a la formación de vainas. Al observar la comparación de los pares en el número de nódulos y el volumen de raíz, el tratamiento B, con sustrato tierra y humus presentó una diferenciación significativa frente a los tratamientos F. Por consiguiente, el humus y el biocarbón en porcentajes no tan altos podrían estar muy relacionados con la producción de nódulos en plantas

y por ende con la captación de nitrógeno que se verá reflejado en el desarrollo de la planta y en relación con la raíz. En el caso de C-B, se tendrán raíces con una diferencia de volumen marcada en plantas que crecen en tierra sola con biocarbón y plantas que crecen en tierra sola con humus lo que nos indica la fuerte incidencia del aporte nutritivo a la planta y la necesidad de trabajar en conjunto estos dos sustratos para mejorar la calidad en el desempeño del crecimiento de la planta.

Utilizando un modelo lineal se evaluó la contribución del biocarbón y de la combinación de las dos enmiendas (i.e. Humus, biocarbón) sobre el crecimiento de las plantas. Pese a que el biocarbón por sí solo no demostró tener un efecto significativo sobre el desarrollo vegetal ni tener un alto ajuste al modelo lineal ($r^2 = 0.065$, $sd = 0.052$), se encontró una respuesta significativa positiva cuando el análisis se realiza con la sumatoria de las dos enmiendas. La enmienda con biocarbón tiene un efecto positivo en el crecimiento de las raíces, el tallo y las vainas; sin embargo, este efecto resulta de la interacción con el humus. Aunque el peso seco del tallo mostró una respuesta positiva a esta enmienda. Debido a que tanto el humus como la sumatoria de humus y biocarbón ($r^2 = 0.023$, $sd = 0.300$), tuvieron una relación positiva con las variables en donde incluso se alcanzó un $r^2 = 0.95$, sólo se presentan los resultados de la regresión lineal para la combinación (humus y biocarbón) – (figuras a y b). La unión del humus y el biocarbón aumentaron la biomasa de las plantas y su longitud, mostrándonos a lo largo de la experimentación que la clave de trabajar en combinación (biocarbón y humus), es muy importante para obtener mejores resultados en el desarrollo y productividad de las plantas a largo plazo. Según los resultados de la regresión las variables que mostraron la mayor respuesta a la enmienda son, peso tallo en seco ($r^2 = 0.95$), peso hoja seco ($r^2 = 0.864$), peso raíz seco ($r^2 = 0.797$), longitud de las vainas ($r^2 = 0.837$) y número de nódulos ($r^2 = 0.733$). (figura 4).



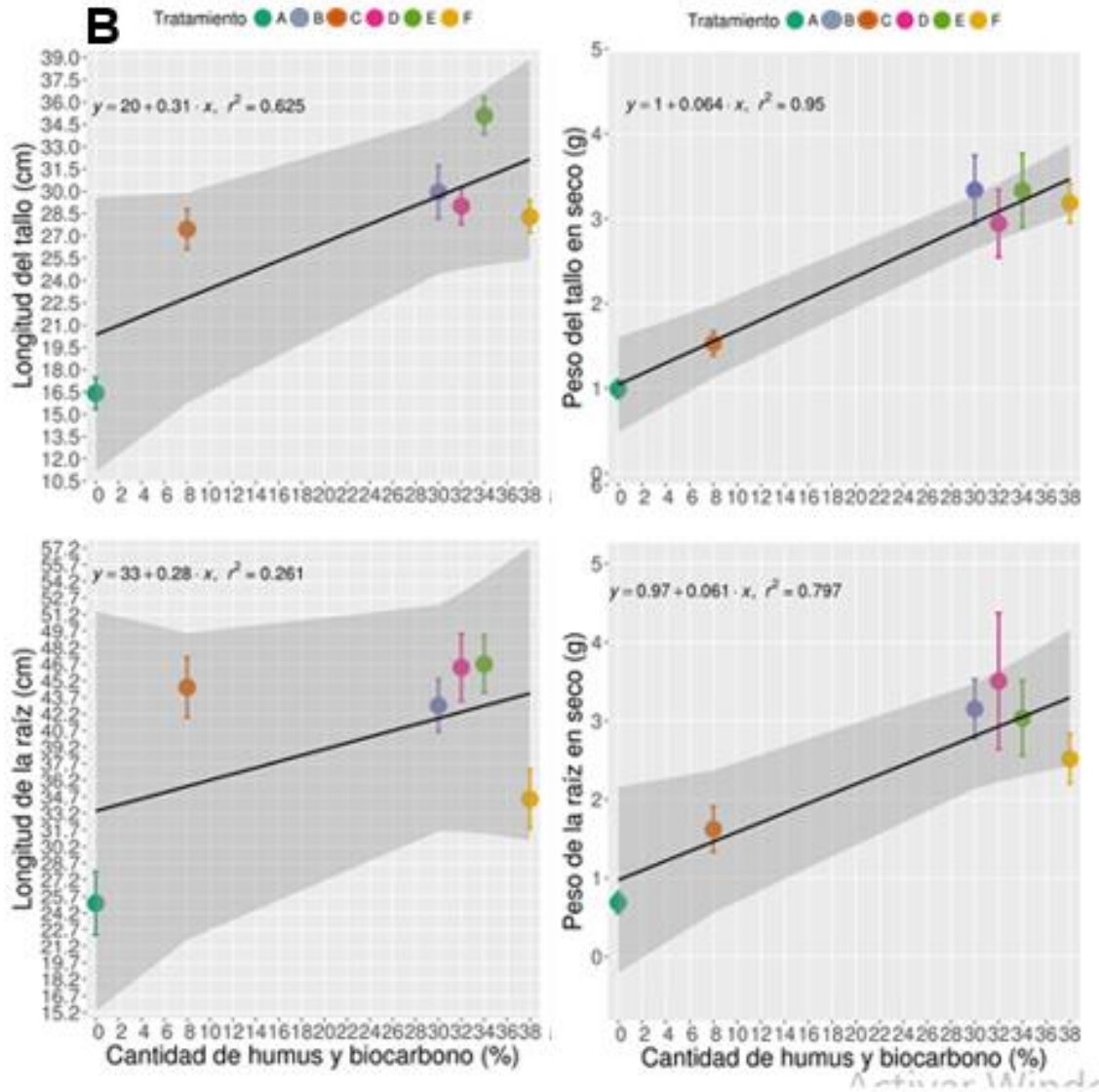


Figura 4. A-B. Contribución de biocarbón y la interacción de ambos al crecimiento de las diferentes variables estudiadas a partir de un análisis de covarianza ($y \sim \text{biocarbón} \cdot \text{humus}$). (A: Tierra sola 100%, B: Tierra sola, humus 70%-30%, C: Tierra sola, Biocarbón 92%-8%, D: Tierra sola, humus Y biocarbón (% bajo) 68%-28%-4%, E: Tierra sola, humus Y biocarbón (% medio) 66%-26%-8%, F: Tierra sola, humus Y biocarbón (% alto) 62%-22%-16%).

4.3 Variación temporal en el crecimiento

A continuación, se describe el comportamiento de cada variable en el tiempo con base a las propiedades y características de cada sustrato que componían los tratamientos; se evaluó los cambios entre cada intervalo de tiempo en condiciones de invernadero los efectos en el crecimiento, diámetro, número de hojas y producción de vainas de la planta *Vigna unguiculata*

4.3.1. Altura de la planta En el análisis temporal del crecimiento se encontraron diferencias en el crecimiento entre los diferentes tratamientos y entre las diferentes variables evaluadas. La planta empieza el crecimiento después de su germinación, alcanzando la altura y volumen para desarrollar los cotiledones de los cuales se va alimentar antes de formar las primeras hojas (figura 5), de esta manera la planta inicia su ciclo ganando altura y empieza a crecer entre los días 10 y 15, con el fin de buscar la producción de las hojas primordiales en donde se observan las diferencias más significativas llegando a evidenciar un notable crecimiento en el tratamiento B, con un sustrato compuesto por tierra y humus, seguido por los tratamientos F y E, respectivamente, que contenían en su sustrato humus y biocarbón en porcentaje alto y medio. Para el caso del tratamiento A y C, hubo un crecimiento poco favorable en especial en el tratamiento control debido tal vez a la poca nutrición en el sustrato.

4.3.2. Diámetro de la planta Posteriormente entre los días 15 y 25, la tasa de crecimiento de la planta una vez alcanza cierta altura se detiene para fortalecerse y resistir condiciones ambientales, por lo que empieza el engrosamiento de su diámetro entre los días 15 y 20 (figura 6), donde mostró mejor comportamiento el tratamiento E, con un sustrato compuesto por tierra, humus

y biocarbón en nivel medio, seguido por los tratamientos F y D, respectivamente que contenían en su sustrato tierra, humus y biocarbón en porcentaje alto y bajo. Para los casos del tratamiento A y C, al no poseer nutrientes en su sustrato presentaron comportamientos poco favorables, notándose más negativo dicho estado en el tratamiento control y mostrando el mejor comportamiento el tratamiento E, seguido del tratamiento F y una conducta muy similar entre los tratamientos D y B.

4.3.3. Número de hojas El crecimiento de altura y diámetro de tallo de las plantas se detienen para poder enfocar toda su energía en la producción de hojas y será tomada esa nueva energía de la fotosíntesis, empezando a aumentar sus hojas entre los días 20 y 35 (figura 8). En el tratamiento B, hubo un crecimiento hasta los 30 días de 6 trifolios, para luego aumentar hasta los 7 trifolios a los 35 días. Los tratamientos E y F, presentaron mayor número de hojas llegando hasta los 9 y 10 trifolios respectivamente. El tratamiento D, tuvo un crecimiento hasta el día 35 alcanzando los 7 trifolios. Paralelamente, el tratamiento C, mostró un crecimiento en el número de hojas hasta el día 35 con un máximo de 5 trifolios. Ya de esta manera empieza a captar la luz solar y mediante el proceso de fotosíntesis se verán beneficiados los individuos al obtener mayor cantidad de energía para las diferentes actividades como producción y aumento en el número de vainas y entre los días 35 y 40 es donde empieza la formación de estas.

4.3.4. Producción de vainas Con respecto al número de vainas totales por planta los tratamientos E, F, B y D, presentaron una mayor cantidad de vainas, destacándose el tratamiento E. El tratamiento C, presentó un comportamiento donde su aumento en el número de vainas es lento pero progresivo (figura 7). El tratamiento A, muestra un crecimiento en el número de hojas en los primeros 35 días a un máximo de tres trifolios.

En general todos los tratamientos con biocarbón y humus presentaron buenos comportamientos induciendo y promoviendo la formación de estructuras, teniendo en cuenta que el desarrollo de estas estructuras debido a procesos naturales no puede darse al mismo tiempo. Al final nuestro mejor tratamiento con base a los resultados obtenidos fue el tratamiento E, que corresponde a tierra, humus y biocarbón en porcentaje medio, el cual mostró efectos con consecuencias positivas con este tipo de combinación.

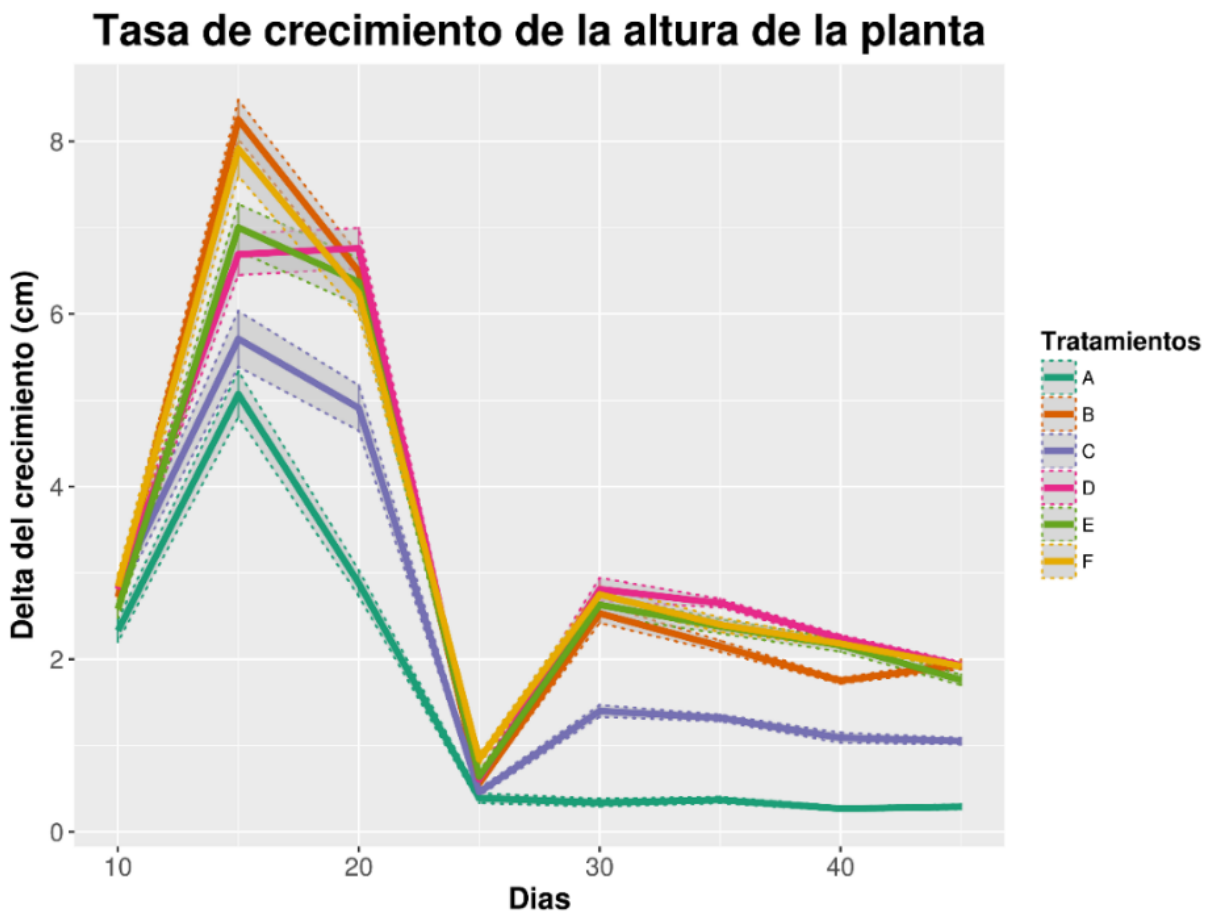


Figura 5. Cambio en la tasa de crecimiento de la altura de la planta a través del tiempo. Intervalo de confianza de todos los tratamientos con respecto a la altura de la planta. (A: Tierra sola 100%, B: Tierra sola, humus 70%-30%, C: Tierra sola, Biocarbón 92%-8%, D: Tierra sola, humus Y biocarbón (% bajo) 68%-28%-4%, E: Tierra sola, humus Y biocarbón (% medio) 66%-26%-8%, F: Tierra sola, humus Y biocarbón (% alto) 62%-22%-16%).

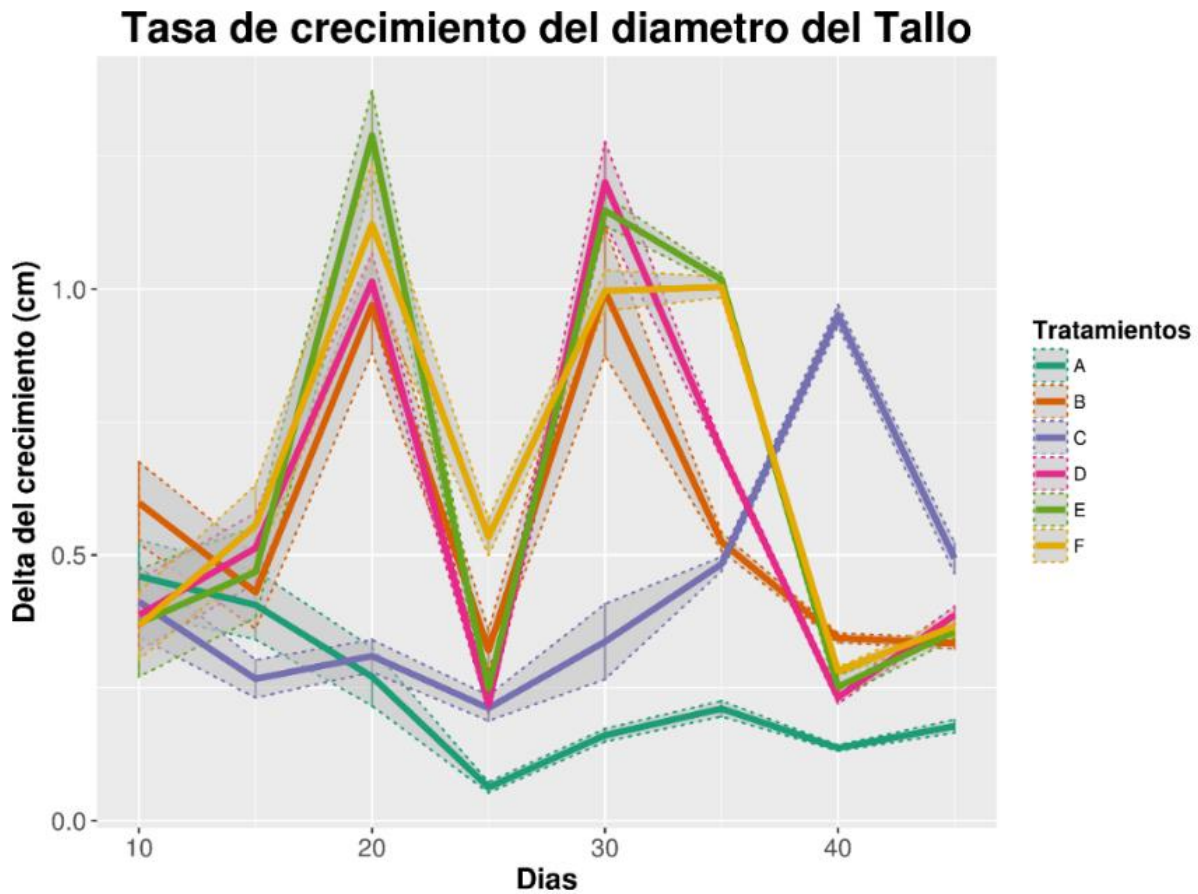


Figura 6. Cambio en la tasa de crecimiento del diámetro del tallo a través del tiempo. Intervalo de confianza de todos los tratamientos con respecto al crecimiento del diámetro del tallo. (**A:** Tierra sola 100%, **B:** Tierra sola y humus 70%-30%, **C:** Tierra sola y Biocarbón 92%-8%, **D:** Tierra sola, humus y biocarbón (% bajo) 68%-28%-4%, **E:** Tierra sola, humus y biocarbón (% medio) 66%-26%-8%, **F:** Tierra sola, humus y biocarbón (% alto) 62%-22%-16%).

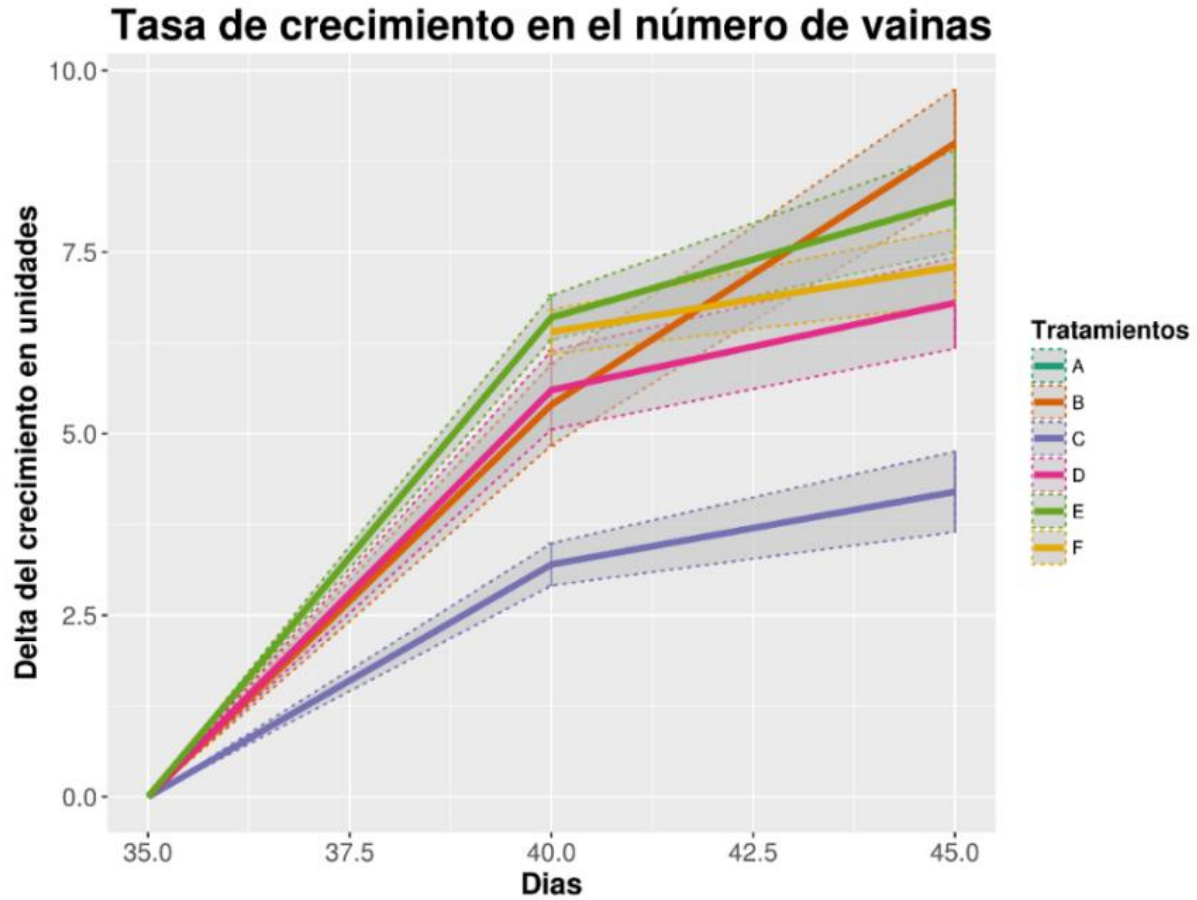


Figura 7. Cambio en la tasa de crecimiento en el número de vainas a través del tiempo. Intervalo de confianza de todos los tratamientos con respecto al crecimiento en el número de vainas. (**A:** Tierra sola 100%, **B:** Tierra sola y humus 70%-30%, **C:** Tierra sola y Biocarbón 92%-8%, **D:** Tierra sola, humus y biocarbón (% bajo) 68%-28%-4%, **E:** Tierra sola, humus y biocarbón (% medio) 66%-26%-8%, **F:** Tierra sola, humus y biocarbón (% alto) 62%-22%-16%).

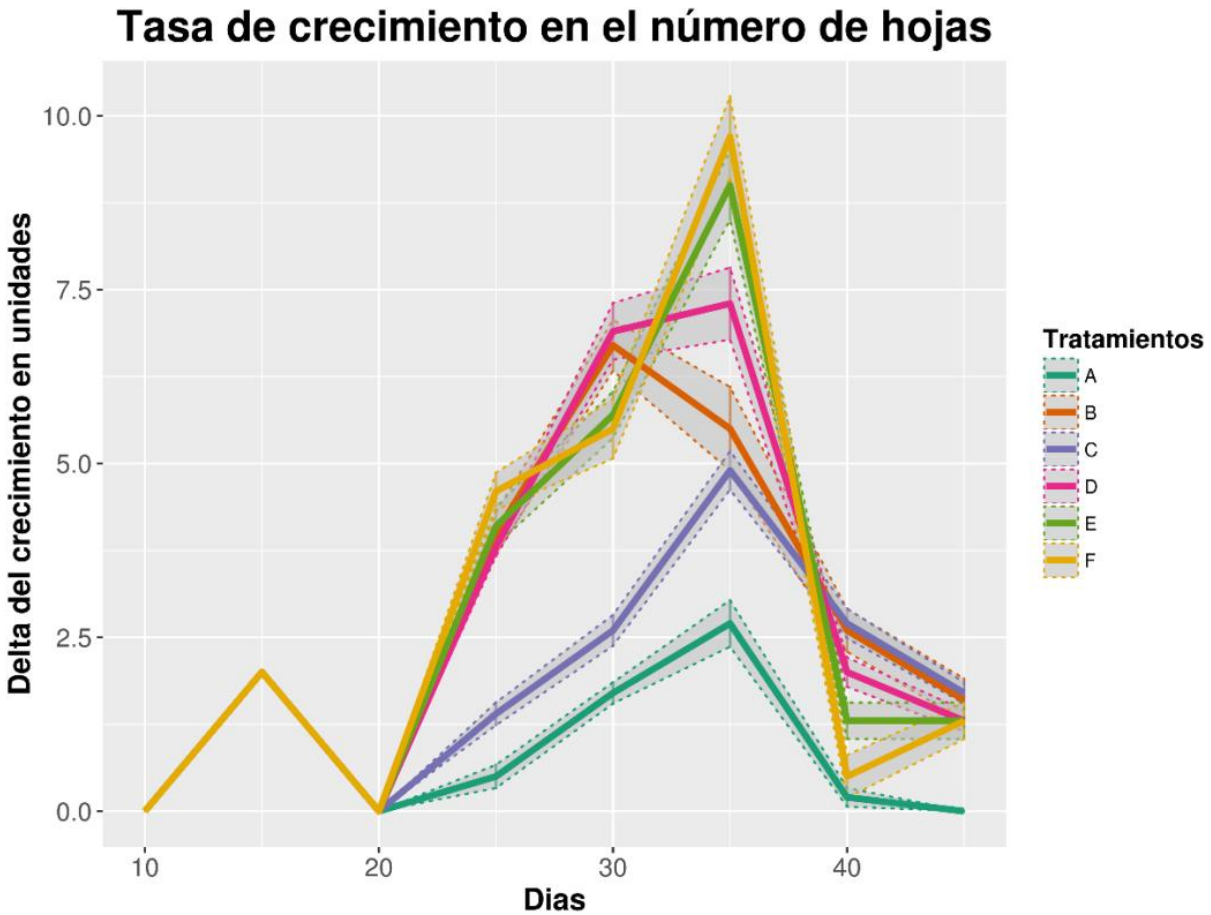


Figura 8. Cambio en la tasa de crecimiento en el número de hojas a través del tiempo. Intervalo de confianza de todos los tratamientos con respecto al número de hojas. (A: Tierra sola 100%, B: Tierra sola y humus 70%-30%, C: Tierra sola y Biocarbón 92%-8%, D: Tierra sola, humus y biocarbón (% bajo) 68%-28%-4%, E: Tierra sola, humus y biocarbón (% medio) 66%-26%-8%, F: Tierra sola, humus y biocarbón (% alto) 62%-22%-16%).

5. Discusión

5.1 Efecto del biocarbón como enmienda del suelo

Se observó que hubo un aumento en la biomasa aérea y que la más baja la obtuvo el tratamiento control, seguido del tratamiento C, que aunque no fue tan marcada, influyó en cambios que le otorgaron mayor biomasa, mientras que los otros tratamientos mostraron cambios más visibles y positivos en su crecimiento y producción de frutos, lo que nos sugiere que hubo un aumento de las características del suelo que favoreció la biomasa total de las plantas al poseer biocarbón y humus (Atkinson et al., 2010; Sohi et al., 2010; Lehmann et al., 2011). Se encontró efectos positivos al adicionar humus y biocarbón como enmienda, el cual favoreció el crecimiento y desarrollo de las plantas considerando varias variables de crecimiento. Este efecto, sin embargo, no se encontró al ser expuesto a diferentes niveles de enmienda con biocarbón. Por el contrario, se encontró que la interacción entre humus y biocarbón tiene un efecto positivo y las relaciones encontradas no solo son el resultado de adicionar humus. En los tratamientos que estaban fertilizados, la adición de biocarbón no presentó diferencias significativas, aunque hubo un crecimiento notable en el tratamiento E, destacándose al presentar mejores características que lo diferenciaban de los demás. El tratamiento C, mezcla de biocarbón con tierra infértil, sin ningún tipo de fertilizante también nos demostró su importancia, no de la misma manera que combinado con humus pero que corresponde a un sustrato optimizado capaz de mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo (Lehmann et al., 2003).

También hay que destacar que la densidad de biocarbón es menor a la de suelos minerales y por tal razón puede mejorar la porosidad y aireación de suelos arcillosos aumentando el drenaje, facilitando la penetración de la raíz y de esta forma poder obtener un crecimiento más óptimo en las plantas (Laird, 2008; Joseph et al., 2009; Major et al., 2010; Laird et al., 2010; Sparkes y Stoutdjesdijk, 2011; Bruun, 2011; Lehmann et al., 2011; Hale et al., 2014). Los efectos positivos del biocarbón en su contribución para el crecimiento se puede deber a su facultad para hacer modificaciones sobre suelos con niveles nutritivos bajos que favorezcan a la planta, caso contrario al tratamiento control, el cual está constituido por tierra arcillosa con poco drenaje, poca aireación y poca fertilidad. La porosidad es uno de los principales atributos del biocarbón y su alta superficie específica lo hace un gran elemento como enmienda para su aplicación en suelos (Glaser et al., 2002; Kuzyakov, 2009; Makoto y Yasuyuki, 2010; Brockhoff et al., 2010). Lo esponjoso que queda el suelo hace que también mejore la capacidad de permeabilidad y su capacidad de retención de humedad (Abel et al., 2013; Ulyett et al., 2014), también mejora la productividad de las plantas al tener la capacidad de intercambio de cationes (Liang et al., 2006).

5.2 Efecto del biocarbón al crecimiento de *Vigna unguiculata*

5.2.1. Longitud y volumen de raíz En el caso de raíz se obtuvieron diferencias significativas al medir la longitud de dicha estructura en todos los tratamientos con respecto al tratamiento control, mostrándonos claras diferencias en tamaño y volumen, sugiriendo que el aumento se pudo deber al almacenamiento de agua y nutrientes debido a la presencia de biocarbón (Sohi et al., 2009). Aunque nuestro tratamiento F, que contenía mayor porcentaje de biocarbón no presentó más eficacia en el crecimiento de la raíz, mostrándonos una mayor actividad en los otros

tratamientos con combinaciones de biocarbón en menor porcentaje y humus. Sin embargo, podemos suponer que los efectos del biocarbón son importantes en el desarrollo de raíz y su peso, ya que se pudo comprobar al comparar el tratamiento control con el tratamiento C, el cual este último tratamiento está conformado de tierra y biocarbón, y donde se presentaron diferencias que nos indica la incidencia de la enmienda de biocarbón positivamente mejorando la aireación del suelo, intercambio gaseoso y desarrollo de la raíz (Glaser et al., 2002; Laird et al., 2010). Las diferentes reacciones ocurridas durante el proceso de fabricación del biocarbón con la materia prima utilizada de la familia myrtaceae nos llevó a obtener un producto con buenas características estructurales y químicas (Antal y Gronli, 2003; Demirbas, 2004) que pudo ocasionar las diferencias generando mayor volumen y mayor longitud en la raíz del tratamiento C, con respecto al control. Los nódulos aumentaron significativamente, donde nos permite especular que hubo una mayor fijación de nitrógeno al adicionar biocarbón y que en estudios anteriores en leguminosas que interactúan con rizobios aumentó la frecuencia de nódulos fijadores de nitrógeno de manera considerable (Warnock et al., 2007. Rondon et al., 2007). por esta razón nos permite suponer que en nuestra experimentación el aumento de nódulos está relacionada con el volumen de la raíz, y que la fijación de nitrógeno en este caso al haber variaciones entre los tratamientos no solo depende de la captación de N del aire sino también de la presencia de biocarbón para capturarlo. Aunado a esto podemos suponer que el crecimiento de la planta depende de sustratos con mayor disponibilidad de los recursos nutritivos que podría favorecer la simbiosis.

5.2.2. Diámetro del tallo Para el diámetro del tallo se encontraron diferencias entre los tratamientos presentando un mayor contraste en el diámetro con respecto al tratamiento control, mostrándonos que mientras mayor sea el diámetro la planta podrá optimizar más los nutrientes

para incrementar el número de frutos y de esa forma aumentar el rendimiento (Moorby, 1981), donde nos hace referencia que al presentar mayor área parenquimatosa hay mayores reservas que serán utilizadas para el crecimiento del fruto y mayor flujo de agua a los órganos reproductores. Se pudo observar que hay incrementos notables al inicio de los diámetros en los diferentes tratamientos a excepción del tratamiento control, y posteriormente hay una estabilización, lo que nos puede indicar una disponibilidad de nutrientes limitada que puede deberse a la etapa de preparación para la floración.

5.2.3. Influencia del humus y biocarbón en la producción de flores y vainas Con respecto al número de flores, los tratamientos que mejor se comportaron fueron los que tenían en su sustrato humus y biocarbón, lo que pudo deberse a la calidad del sustrato que facilitó una mejor absorción de nutrientes ya que al trabajar con componentes orgánicos estos presentan un mejor contenido nutritivo que son asimilables (Adams et al., 1973). Para el caso de nuestro tratamiento C (tierra y biocarbón), las deficiencias se pudieron deber a la ausencia de humus por la falta de potasio, fósforo y la interacción de microorganismos con el biocarbón por su capacidad de transformación de la biomasa y la composición microbiana (Steiner et al., 2004), que retrasan el desarrollo de la parte floral. Y en el caso de nuestro tratamiento control la ausencia total de flor pudo deberse a la escasez exagerada de nutrientes al no tener humus, ni biocarbón que ayude a la retención de esos componentes nutritivos y de humedad. En el caso de todos los tratamientos a excepción del control, el número de frutos se vió reflejado y se relaciona con el número de inflorescencias siendo los tratamientos E y F, los más productivos con la combinación de biocarbón y humus.

La experimentación presentó limitaciones al tener una forma que no es cruzada, por lo tanto, no se puede evaluar el efecto humus vs biocarbón. Sin embargo, las regresiones sugieren que

ambos en combinación tienen un efecto positivo. En futuros experimentos se debe realizar de manera cruzada. Y además para futuros experimentos sería recomendable que el biocarbón sea parte de procesos de compostaje para observar si hay una mayor incorporación de microorganismos en su superficie que puedan acelerar los procesos de fertilización de los sustratos capaces de incrementar el crecimiento y productividad en plantas.

6. Conclusiones

La adición de biocarbón como enmienda con los sustratos utilizados en nuestro cultivo nos mostró su eficacia al observar una mayor biomasa aérea y la producción de vainas en los diferentes tratamientos que lo contenían, caso contrario en el tratamiento control en el cual no se observó un buen desarrollo en su crecimiento, presentando deficiencia en la coloración de sus hojas y ausencia de flores y vainas.

Los contrastes en los tratamientos nos demostraron la influencia del biocarbón combinado con humus, su importancia en la capacidad de retención de nutrientes que optimizaron el aumento en el volumen de su raíz, biomasa aérea y frutos en la especie *Vigna unguiculata*, reafirmando que se pueden obtener efectos positivos en el desarrollo y productividad en plantas si están combinados biocarbón con humus ya que el biocarbón al actuar sólo no brindará los mismos resultados.

La capacidad del biocarbón como enmienda junto con el humus aumentan la fertilidad de los sustratos, aunque todavía hace falta profundizar más frente al tema para fortalecer el conocimiento de esta herramienta como mejorador de suelos su aporte en interacciones con microorganismos.

Referencias Bibliográficas

- Abel S, Peters A, Trinks S, Schonsky H, Facklam M, Wessolek G (2013). Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *geoderma* 202:183–191.
- Abenza D. (2012). Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta. tesis de licenciatura. universidad autónoma de Barcelona y CREAM. 111 P.
- Adams, P. Winsor. W, Y Donald, J. (1973). The effects of nitrogen, potassium and subirrigation on the yield, quality and composition of singletruss tomatoes. *j. hort. Sci.* 48: 123-133.
- Atkinson Cj, Fitzgerald Jd, Hippias Na (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soil: a review. *plant soil* 337:1–18.
- Biederman, L. A., & Harpole, W. S. (2013). Biochar and Its effects on plant productivity and nutrient cycling: A meta- Analysis. *Gcb Bioenergy*, 5(2), 202-214.
- Binder, U. (1997). Manual de leguminosas en Nicaragua. Tomo I Y II. Primera Edición. Pasolac, E.A.G.E. Esteli, Nicaragua. 528p.
- Brewer Ce, Schmidt-Rohr K, Satrio Ja, Brown Rc (2009). Characterization of biochar from Fast pyrolysis and gasification systems. *environ prog sustain Ener* 28:386–396.
- Bruun E.W. (2011). Application of fast pyrolysis biochar to a loamy soil - Effects on Carbon and nitrogen dynamics and potential for carbon sequestration. Tesis De Doctorado. Information service department. Risø Dtu. National Laboratory for sustainable Energy. Technical University of Denmark. 109 P.
- Carter S., Shackley S., Sohi S., Suy T B., Y Haefele S. (2013). The Impact of Biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca Sativa*) and cabbage (*Brassica Chinensis*). *Agronomy* 3: 404-418.

- Elad, Y.; David, D.R.; Harel, Y.M.; Borenshtein, M.; Kalifa, H.B.; Silber, A.; Graber, E.R. (2010). Induction of systemic resistance in plants by Biochar, a soil-applied carbon sequestering agent. *Phytopathology* 100(9): 913-921.
- Feller, C.; Beare, M. H. (1997). Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, 79, 69-116.
- Folquer, F. (1976). *Estudio De La Planta Y Su Producción*. 2a Ed. Edit. hemisferio sur. Buenos Aires, Argentina, 104 P.
- Gaunt J. Y Cowie A. (2009). Biochar, greenhouse gas accounting and emissions trading. *Biochar for Environmental Management*. Lehmann J. And Joseph S. Earthscan Publishing for a sustainable future: Uk Y USA. 317-340 P.
- Glaser, B., L. Haumaier, G. Guggenberger, And W. Zech. (2001). The “Terra Preta” Phenomenon: A Model for Sustainable Agriculture in The Humid Tropics. *Naturwissenschaften* 88: 37-41.
- Glaser B, Lehmann J, Zech W (2002) Ameliorating Physical and Chemical Properties of Highly Weathered Soils in The Tropics with Charcoal—A Review. *Biol Fertil Soils* 35:219–230.
- Graber Er, Tsechansky L, Gerstl Z, Lew B (2012) High Surface Area Biochar Negatively Impacts Herbicide Efficacy. *Plant Soil* 353:95–106.
- Golchin A, Clarke P, Baldock Ja, Higashi T, Skjemstad Jo, Oades Jm (1997) The Effects of Vegetation and Burning on The Chemical Composition of Soil Organic Matter In A Volcanic Ash Soil As Shown By ¹³c Nmr Spectroscopy. I. Whole Soil and Humic Acid Fraction. *Geoderma* 76:155–174.
- Hale L., Luth M., Kenney R., Crowley D. (2014). Evaluation of Pinewood Biochar as A Carrier of Bacterial Strain *Enterobacter Cloacae* Uw5 For Soil Inoculation. *Applied Soil Ecology* 84:192–199.
- Haumaier L, Zech W (1995) Black Carbon – Possible Source of Highly Aromatic Components of Soil Humic Acids. *Org Geochem* 23:191–196.
- Iswaran V, Jauhri K, Sen A (1980) Effect of Charcoal, Coal and Peat on The Yield of Moong Soybean and Pea. *Soil Biol Biochem* 12:191–192.

- Joseph S., Corder Peacocke C., Lehmann J. Y Munroe P. (2009). Developing A Biochar Classification and Test Methods. En: Biochar for Environmental Management. Lehmann J. And Joseph S. Earth scan Publishing for A Sustainable future: Uk Y USA. 107-126 P.
- Joseph S, (2009) Socio-Economic Assessment and Implementation of Small-Scale Biochar Projects. En: Lehmann J, Joseph S (Eds). Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan Publications Ltd, London.
- Keech, O., Carcaillet, C., & Nilsson, M. C. (2005). Adsorption of Allelopathic Compounds by Wood-Derived Charcoal: The Role of Wood Porosity. *Plant and Soil*, 272(1), 291-300.
- Kappler, A., Wuestner, M. L., Ruecker, A., Harter, J., Halama, M., & Behrens, S. (2014). Biochar as An Electron Shuttle Between Bacteria and Fe (III) Minerals. *Environmental Science & Technology Letters*, 1(8), 339-344.
- Kookana Rs, Sarmah Ak, Van Zwieten L, Krull E, Singh B (2011) Biochar Application to Soil: Agronomic and Environmental Benefits and Unintended Consequences. *Adv Agron* 112:103–143.
- Krull, E.S., Skjemstad, J.O., Baldock, J.A. (2004). “Functions of Soil Organic Matter and The Effect on Soil Properties”. En: Grain Research and Development Corporation, Pp. 129.
- Laird D.A. (2008). The Charcoal Vision: A Win–Win–Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, While Improving Soil and Water Quality. *Agronomy Journal* 100 (1): 178-181.
- Laird D.A., Fleming P., Davis D.D., Horton R., Wang B., Karlen D.L. (2010). Impact of Biochar Amendments on The Quality of a Typical Midwestern Agricultural Soil. *Geoderma* 158:443–449.
- Lehmann J., Rillig M.C., Thies J., Masiello C.A., Hockaday W.C., Crowley D. (2011). Biochar Effects on Soil Biota - A Review. *Soil Biology & Biochemistry* 43:1812-1836.
- Lehmann, J.; Da Silva Jr.; J. P.; Steiner, C.; Nehls, T.; Zech, W.; Glaser, B. (2003). Nutrient Availability and Leaching in An Archaeological Anthrosol And a Ferralsol Of The Central Amazon Basin: Fertilizer, Manure And Charcoal Amendments. *Plant and Soil*, 249, 343-357.

- Lehmann J, Gaunt J, Rondon M (2006) Biochar Sequestration in Terrestrial Ecosystems—A Review. *Mitig Adapt Strategies Glob Chang* 11:395–419.
- Lehmann J, Joseph S (2009) Biochar for Environmental Management: An Introduction. En: Lehmann J, Joseph S (Eds.). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan Publications Ltd, London.
- Lehmann J, Joseph S (2015) *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Second Ed. Earthscan Publications Ltd, London.
- Lehmann J, Da Silva Jp Jr, Steiner C, Nehls T, Zech W, Glaser B (2003) Nutrient Availability and Leaching in An Archaeological Anthrosol And a Ferralsol Of the Central Amazon Basin: Fertilizer, Manure and Charcoal Amendments. *Plant Soil* 249:343–357.
- Major J., Rondon M., Molina D., Riha S.J., Lehmann J. (2010). Maize Yield And Nutrition During 4 Years After Biochar Application To A Colombian Oxisol. *Plant Soil* 333:117–128.
- Marques, J. J. G. S. M., Teixeira, W. G., Schulze, D. G., And Curi, N. (2002), Mineralogy of Soils with Unusually High Exchangeable Al From the Western Amazon Region, *Clay Mineralogy*, 37, 651– 661.
- ONU Unccd. (2011). *Desertificación. Una Síntesis Visual*. ONU Pnuma/Grid-Arendal/ Zoi Environment Network. 50 P.
- Paneque, M., José, M., Franco-Navarro, J. D., Colmenero-Flores, J. M., & Knicker, H. (2016). Effect of Biochar Amendment on Morphology, Productivity and Water Relations of Sunflower Plants Under Non-Irrigation Conditions. *Catena*, 147, 280-287.
- Rondon, M. A.; Lehmann, J.; Ramírez, J.; Hurtado, M. (2007). Biological Nitrogen Fixation By Common Beans (*Phaseolus Vulgaris* L.) Increases With Biochar Additions. *Biology And Fertility Of Soils*, Doi 10.1007/S00374-006-0152-Z.
- Schmidt Mwi, Noack Ag (2000) Black Carbon In Soils And Sediments: Analysis, Distribution, Implications, And Current Challenges. *Global Biogeochem Cycl* 14:777–793.

- Schmidt Mwi, Skjemstad Jo, Gehrt E, Kögel-Knabner I (1999) Charred Organic Carbon In German Chernozemic Soils. *Eur J Soil Sci* 50:351–365 Seiler W, Crutzen Pj (1980) Estimates Of Gross And Net Fluxes Of Carbon Between The Biosphere And The Atmosphere From Biomass Burning. *Clim Change* 2:207–247.
- Schulz, H., Dunst, G., & Glaser, B. (2014). No Effect Level of Co-Composted Biochar on Plant Growth and Soil Properties In A Greenhouse Experiment. *Agronomy*, 4(1), 34-51.
- Soares, M.R.; Alleoni, L.R.F.; Vidal-Torrado, P. & Cooper, M. (2005), Mineralogy and Ion Exchange Properties of The Particle Size Fractions of Some Brazilian Soils in Tropical Humid Areas. *Geoderma*, 125:355-367.
- Sohi, S.P.; Krull, E.; López-Capel, E. & Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil. In: *Advances in Agronomy*, page numbers (47-82), Publisher Elsevier Academic Press Inc., ISSN 0065-2213, San Diego, CA-92101-4495, USA
- Skjemstad Jo, Clarke P, Taylor Ja, Oades Jm, Mcclure Sg (1996) The Chemistry And Nature Of Protected Carbon In Soil. *Aust J Soil Res* 34:251–271.
- Sparkes S. Y Stoutjesdijk P. (2011), Technical Report: Biochar: Implications for Agricultural Productivity. Australian Government, Department of Agriculture, Fisheries and Forestry, Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences, Commonwealth Of Australia. 54 P.
- Trupiano, D., Coccozza, C., Baronti, S., Amendola, C., Vaccari, F. P., Lustrato, G., & Scippa, G. S. (2017). The Effects of Biochar and Its Combination with Compost On Lettuce (*Lactuca Sativa* L.) Growth, Soil Properties, And Soil Microbial Activity And Abundance. *International Journal of Agronomy*, 2017.
- Ulyett J, Sakrabani R, Kibblewhite M, Hann M (2014) Impact Of Biochar Addition On Water Retention, Nitrification And Carbon Dioxide Evolution From Two Sandy Loam Soils. *Eur J Soil Sci* 65:96–104.
- Vaccari, F. P., Maienza, A., Miglietta, F., Baronti, S., Di Lonardo, S., Giagnoni, L., ... & Valboa, G. (2015). Biochar Stimulates Plant Growth but Not Fruit Yield of Processing Tomato in A Fertile Soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 207, 163-170.
- Warnock, D. D.; Lehmann, J.; Kuyper, T. W.; Rillig, M. C. (2007). Mycorrhizal Responses To Biochar In Soil - Concepts And Mechanisms. *Plant And Soil*, 300, 9-20.

Xu G, Wei Ll, Sun Jn, Shao Hb, Chang Sx (2013), What Is More Important for Enhancing Nutrient Bioavailability with Biochar Application into A Sandy Soil: ¿Direct or Indirect Mechanism? *Ecol Eng* 52:119–124.

Zahran, H.H. (1999), Rhizobium-Legume Symbiosis and Nitrogen Fixation Under Severe Conditions and In an Arid Climate. *Microbiol Mol Biol Rev*, 63, Pp. 968–989.

Apéndices

Apéndice A. Fotos del experimento en estado de germinación de semillas (4 semillas por materia)



Tratamiento A



Tratamiento B



Tratamiento C



Tratamiento D



Tratamiento E



Tratamiento F

Experimento 7 días después:



Tratamiento A



Tratamiento B



Tratamiento C



Tratamiento D



Tratamiento E



Tratamiento F

Apéndice B. Se deja un individuo por materia en la experimentación



Tratamiento A



Tratamiento B



Tratamiento C



Tratamiento D



Tratamiento E



Tratamiento F

Apéndice C. Experimento después de 30 días



Tratamiento A



Tratamiento B



Tratamiento C



Tratamiento D



Tratamiento E



Tratamiento F

Experimento despúes de 45 días

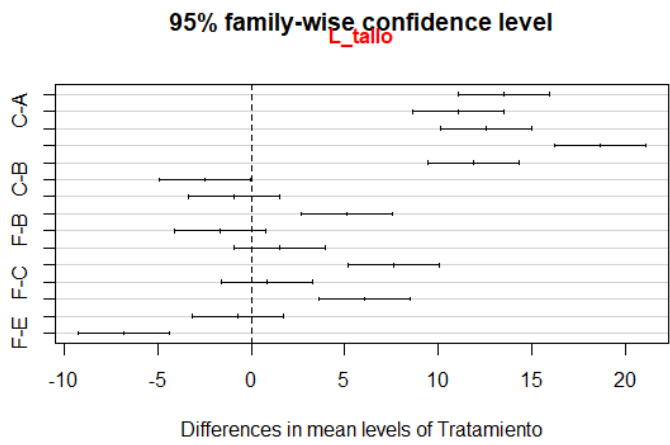
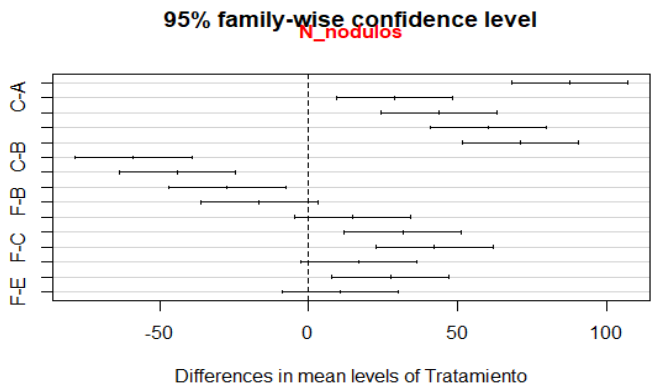
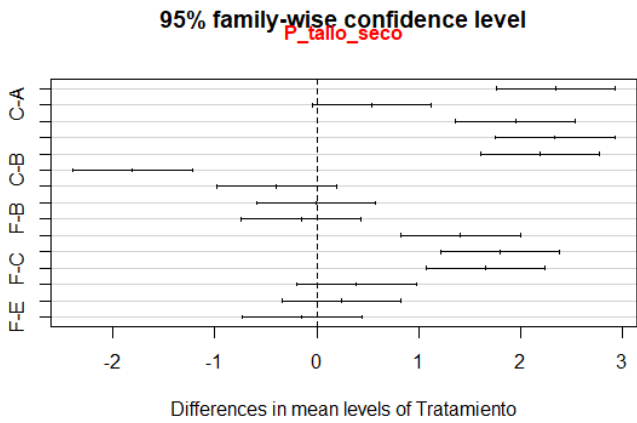


C B A

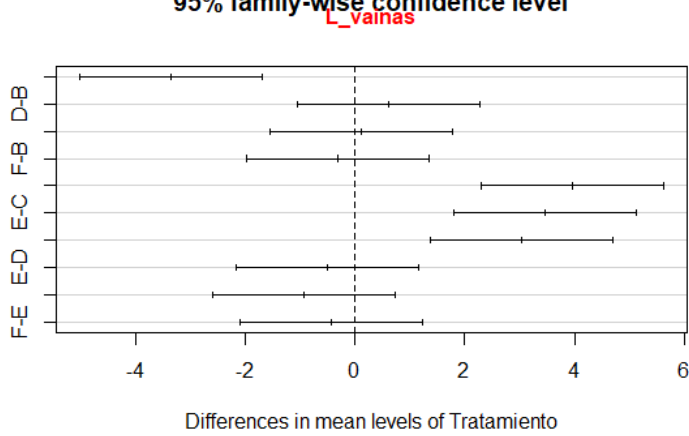


D E F

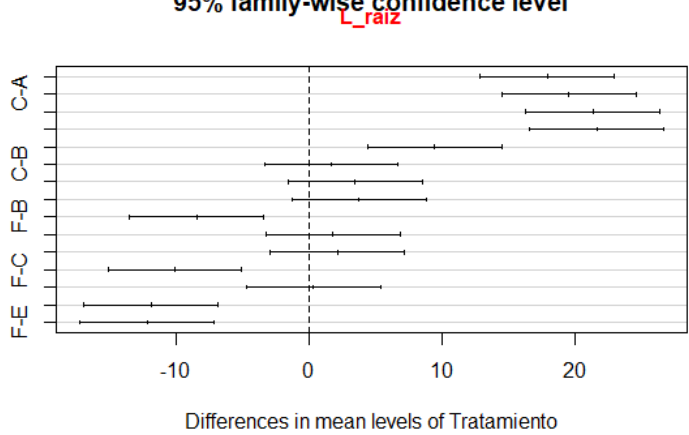
Apéndice D. Gráficos test de tukey



95% family-wise confidence level



95% family-wise confidence level



95% family-wise confidence level

