



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**BIOCHAR: APLICACIONES Y EFECTOS EN COMBINACIÓN CON
FERTILIZANTES MINERALES EN 3 VARIEDADES DE CAFÉ EN LA
PROVINCIA DE EL ORO**

**QUIÑONEZ LEON BRYAN SAMUEL
INGENIERO AGRÓNOMO**

**MACHALA
2020**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

BIOCHAR: APLICACIONES Y EFECTOS EN COMBINACIÓN
CON FERTILIZANTES MINERALES EN 3 VARIEDADES DE CAFÉ
EN LA PROVINCIA DE EL ORO

QUIÑONEZ LEON BRYAN SAMUEL
INGENIERO AGRÓNOMO

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

BIOCHAR: APLICACIONES Y EFECTOS EN COMBINACIÓN CON FERTILIZANTES
MINERALES EN 3 VARIEDADES DE CAFÉ EN LA PROVINCIA DE EL ORO

QUIÑONEZ LEON BRYAN SAMUEL
INGENIERO AGRÓNOMO

QUEVEDO GUERRERO JOSE NICASIO

MACHALA, 21 DE DICIEMBRE DE 2020

MACHALA
2020

Tesis de grado BSQL

INFORME DE ORIGINALIDAD

0%

INDICE DE SIMILITUD

0%

FUENTES DE
INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

< 21%

Excluir bibliografía

Apagado

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, QUIÑONEZ LEON BRYAN SAMUEL, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado BIOCHAR: APLICACIONES Y EFECTOS EN COMBINACIÓN CON FERTILIZANTES MINERALES EN 3 VARIEDADES DE CAFÉ EN LA PROVINCIA DE EL ORO, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 21 de diciembre de 2020



QUIÑONEZ LEON BRYAN SAMUEL
0705597854

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y la fuerza necesaria para seguir adelante y supo guiarme por el camino del bien, y permitirme llegar a cumplir este logro tan importante.

A mis queridos padres Sr. Eraclides Ismael Quiñonez Neira y Sra. Aurora Felay León Maza, quienes con gran esfuerzo y sacrificio me han apoyado en el transcurso de mis estudios depositando su confianza en mí durante estos años.

A mis hermanos Jonathan, Xavier, Vanessa y David quienes me brindaron su apoyo incondicional desde el inicio de mis estudios.

De igual manera a mis amigos, compañeros y docentes que me apoyaron a lo largo de mi carrera universitaria.

Bryan S. Quiñonez León

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios por haberme dado la fuerza y la sabiduría para terminar mis estudios académicos y no abandonarme en los momentos más difíciles.

A mis padres que siempre me brindaron su apoyo y han estado presentes en cada momento de mi vida.

A mi querida novia Wendy Ulloa siendo una persona muy especial e importante en mi vida, por haber creído en mí demostrándome su amor y apoyo incondicional cada día.

De manera especial al. Ing. José Nicasio Quevedo quien en calidad de tutor, siempre estuvo dispuesto a brindarme sus conocimientos científicos y técnicos, siendo la principal persona en la guía de la elaboración de mi trabajo de investigación.

A todos mis amigos que de alguna u otra forma me brindaron su colaboración para realizar esta investigación.

Gracias a todos

El autor.

BIOCHAR: APLICACIONES Y EFECTOS EN COMBINACIÓN CON FERTILIZANTES MINERALES EN 3 VARIEDADES DE CAFÉ (*Coffea sp.*) EN LA PROVINCIA DE EL ORO

**Quiñonez León, Bryan
Quevedo Guerrero, José**

RESUMEN

La caficultura es tradicional en Ecuador, se puede producir de dos tipos, café arábigo y café robusta ya que nuestro país goza de privilegiadas aptitudes agroecológicas para el desarrollo de ambas especies. El cultivo de café es muy importante, se puede cultivar en una amplia diversidad de suelos, siendo más importante tenerlo en un sistema agroforestal de manera que se conserven los recursos, se capture carbono y se proteja el balance hídrico.

El café se cultiva en 23 provincias del Ecuador, se considera que *Coffea arabica* llegó a nuestro país en 1784 y que *Coffea canephora* fue introducida en 1951 iniciando su producción en la Estación Experimental Pichilingue y luego se distribuyó al resto del país.

En la actualidad el cultivo de café ha disminuido porque dejó de ser rentable, las plagas atacaron y diezmaron los cultivos por lo que no resulta beneficioso y se convirtió en un enorme costo su mantenimiento, los caficultores cambiaron de cultivo sustituyéndolo por pastizales, cacaoteras, plantaciones forestales y frutales, según el II Censo Agropecuario el café pasó de ser cultivado en cerca de 346 971 has a ser cultivado en apenas 60 000 has según datos difundidos por ANECAFE en 2019.

En este trabajo experimental se realizará la aplicación de biochar y fertilizante completo para evaluar tres variedades comerciales de café que se producen en la provincia de El Oro que son: Sarchimor, Conilón y Lojana.

El biochar se ha convertido en un material de investigación relevante por su variada aplicación y grandes beneficios otorgados a los cultivos como estimular la simbiosis microbiana y hacer más eficiente la aplicación de fertilizantes, mejora la producción y rendimiento de los cultivos e incremento de la biomasa, favorece la producción de fitoalexinas para que la planta se defienda de organismos patógenos mejorando su resistencia.

La nutrición del cafeto demanda 16 o más elementos que son esenciales para su metabolismo y que varía de acuerdo a las necesidades de la especie, etapa fenológica o depende de las propiedades del suelo donde será sembrado.

El diseño experimental fue de bloques al azar con 12 tratamientos y cuatro repeticiones cada uno, con dosis de cero, cinco, diez y quince gramos de biochar, mezclados con 20 g de fertilizante completo a excepción del testigo, las variables analizadas fueron: altura de la planta (AP), número de ramas (NR), largo de raíz (LR), perímetro de raíz (AR), largo de las hojas (LH), ancho de las hojas (AH).

Los resultados obtenidos indican que las mejores dosis fueron de 5 y 15 g de biochar que lograron excelentes resultados con la variedad Sarchimor, mientras que las variedades Lojana y Conilon obtuvieron menores valores posiblemente afectados por su genética.

La variable AP indica que la variedad Sarchimor obtuvo una mayor altura de plantas en los tratamientos asignados, los tratamientos ST3BY15 y ST1BY5 presentan una altura de 75 cm, mientras que las alturas más bajas entre las tres variedades analizadas son todas aquellas a las que no se realizó aplicación de biochar LTBY0, ST0BY0 y CT0BY0.

La variable LR es significativa, sus medias indican que los tratamientos ST3BY15 y LT3BY15 presentan mayor elongación radicular con 53 y 43 cm respectivamente, la adición de biochar activó las micorrizas y estas estimularon el desarrollo del sistema radicular con una mejor captación de fósforo que se encuentra asociado con el incremento de la tasa de crecimiento de las raíces.

Se concluye que las mejores dosis en todos los tratamientos son 5 y 15 g de biochar para mejores resultados y que la variedad con mejor respuesta a estos tratamientos fue Sarchimor.

Se recomienda usar biochar en mezcla con fertilizantes para potenciar su efecto en las plantas, evitar su pérdida, mejorar la CIC entre otros beneficios que mejoraran el cultivo de café.

Palabras clave: producción, rendimiento, fitosanidad, nutrición.

**BIOCHAR: APPLICATIONS AND EFFECTS IN COMBINATION
WITH MINERAL FERTILIZERS IN 3 VARIETIES OF COFFEE
(*Coffea sp.*) IN THE PROVINCE OF EL ORO**

**Quiñonez León, Bryan
Quevedo Guerrero, José**

ABSTRACT

Coffee growing is traditional in Ecuador, it can be produced in two types, Arabica coffee and Robusta coffee, since our country has privileged agroecological aptitudes for the development of both species. The cultivation of coffee is very important, it can be cultivated in a wide diversity of soils, being more important to have it in an agroforestry system so that resources are conserved, carbon is captured and the water balance is protected.

Coffee is grown in 23 provinces of Ecuador, it is considered that *Coffea arabica* arrived in our country in 1784 and that *Coffea canephora* was introduced in 1951, starting its production at the Pichilingue Experimental Station and then distributed to the rest of the country.

At present, coffee cultivation has decreased because it is no longer profitable, pests attacked and decimated the crops, so it is not beneficial and its maintenance became an enormous cost, coffee growers changed crops replacing it with grasslands, cocoa farms, plantations forest and fruit trees, according to the II Agricultural Census, coffee went from being cultivated in about 346,971 hectares to being cultivated in just 60,000 hectares, according to data released by ANECAFE in 2019.

In this experimental work, the application of biochar and complete fertilizer will be carried out to evaluate three commercial varieties of coffee that are produced in the province of El Oro, which are: Sarchimor, Conilón and Lojana.

Biochar has become a relevant research material due to its varied application and great benefits granted to crops such as stimulating microbial symbiosis and making the application of fertilizers more efficient, improving the production and yield of crops and

increasing biomass, It favors the production of phytoalexins so that the plant defends itself against pathogenic organisms, improving its resistance.

Coffee tree nutrition demands 16 or more elements that are essential for its metabolism and that vary according to the needs of the species, phenological stage or depends on the properties of the soil where it will be planted.

The experimental design was randomized blocks with 12 treatments and four repetitions each, with doses of zero, five, ten and fifteen grams of biochar, mixed with 20 g of complete fertilizer except for the control, the variables analyzed were: height of the plant (AP), number of branches (NR), root length (LR), root perimeter (AR), leaf length (LH), leaf width (AH).

The results obtained indicate that the best doses were 5 and 15 g of biochar, which achieved excellent results with the Sarchimor variety, while the Lojana and Conilon varieties obtained lower values, possibly affected by their genetics.

The AP variable indicates that the Sarchimor variety obtained a higher plant height in the assigned treatments, the ST3BY15 and ST1BY5 treatments have a height of 75 cm, while the lowest heights among the three varieties analyzed are all those at which no made application of biochar LTBY0, ST0BY0 and CT0BY0.

The LR variable is significant, their means indicate that the ST3BY15 and LT3BY15 treatments show greater root elongation with 53 and 43 cm respectively, the addition of biochar activated the mycorrhizae and these stimulated the development of the root system with a better uptake of phosphorus found associated with increasing the growth rate of the roots.

It is concluded that the best doses in all treatments are 5 and 15 g of biochar for best results and that the variety with the best response to these treatments was Sarchimor.

It is recommended to use biochar in a mixture with fertilizers to enhance its effect on plants, prevent their loss, improve CEC, among other benefits that improve coffee cultivation.

Key words: production, yield, plant health, nutrition.

INDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	11
Objetivo general	12
Objetivos específicos	12
2. REVISIÓN DE LITERATURA	13
2.1 Origen del café	13
2.2 Clasificación taxonómica	13
2.3 Descripción botánica	13
2.3.1 Raíces	13
2.3.2 Tallo y ramas	13
2.3.3 Hojas	14
2.3.4 Flores	14
2.3.5 Fruto	15
2.4 Condiciones edafoclimáticas requeridas por el cultivo	15
2.4.1 Altitud	15
2.4.2 Requerimientos térmicos	15
2.4.3 Requerimientos hídricos	16
2.4.4 Efectos del viento	16
2.4.5 Humedad relativa	16
2.5 Labores culturales	17
2.5.1 Semilleros	17
2.5.2 Selección de plántulas	17
2.5.3 Trasplante	17
2.5.4 Fertilización	17
2.6 Principales problemas fitosanitarios del cultivo	18
2.6.1 Broca del café	18
2.6.2 Ojo de gallo	18
2.6.3 Roya del café (<i>Hemileia vastatrix</i>)	18
2.7 Nutrición del cultivo de café.	19
2.8 Variedades de café en estudio	20
2.8.1 Conilón	20
2.8.2 Sarchimor	20
2.8.3 Lojana	21
2.9 El biochar	22

2.9.1	Origen del biochar	22
2.9.2	Materia prima para crear biochar	23
2.9.3	Uso del biochar en el suelo y los cultivos	23
2.9.4	Efectos del biochar en los suelos	24
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1	Materiales	25
3.1.1	Localización del ensayo	25
3.1.2	Ubicación geográfica	25
3.1.3	Clima y ecología.....	25
3.1.4	Materiales.....	25
3.1.5	Variables evaluadas.....	26
3.2	Metodología	26
3.2.1	Metodología para la siembra	26
3.2.2	Metodología para el control de arvenses	26
3.2.3	Metodología para aplicación de riego	27
3.2.4	Metodología para la aplicación de tratamientos	27
3.2.5	Metodología para determinar la altura de la planta	27
3.2.6	Metodología para determinar el área foliar	27
3.2.7	Metodología para determinar el largo y ancho de raíces.....	27
3.2.8	Metodología para el conteo de número de ramas.....	27
4.	RESULTADOS	28
4.1	Anova de las variables analizadas	28
4.2	Variable altura de la planta (AP)	29
4.3	Variable largo de raíz (LR).....	30
4.4	Perímetro de raíz	32
4.5	Variable número de ramas	33
4.6	Variable largo de la hoja (LH).....	35
4.7	Variable ancho de hoja (AH).....	36
5.	CONCLUSIONES	39
6.	RECOMENDACIONES	40
7.	LITERATURA CITADA	41
8.	ANEXOS	48

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Anova para determinar la significancia entre variables.....	28
Tabla 2. Prueba de Tukey para la altura de planta.....	29
Tabla 3. Prueba de Tukey para el largo de raíz.	30
Tabla 3. Prueba de Tukey para el largo de raíz.	30
Tabla 4. Prueba de Tukey para la variable perímetro de raíz.	32
Tabla 4. Prueba de Tukey para la variable perímetro de raíz.	32
Tabla 5. Prueba de Tukey para la variable número de ramas.	34
Tabla 5. Prueba de Tukey para la variable número de ramas.	34
Tabla 6. Prueba de Tukey para la variable largo de la hoja.....	35
Tabla 6. Prueba de Tukey para la variable largo de la hoja.....	35
Tabla 7. Prueba de Tukey para la variable ancho de la hoja.	37
Tabla 7. Prueba de Tukey para la variable ancho de la hoja.	37

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Organización del crecimiento ortotrópico y plagiotrópico.	14
Ilustración 2. Morfología de la planta de Coffea sp.....	15
Ilustración 3. Diferencias entre Coffea arabica y Coffea canephora.	16
Ilustración 4. Semillero de café.....	17
Ilustración 5. Ciclo de vida (a), daños ocasionados por la broca (b).	18
Ilustración 6. Síntoma de Hemileia vastatrix en hojas de café.	19
Ilustración 7. Síntomas de deficiencias nutricionales en café para los elementos mayores.....	19
Ilustración 8. Café conilón en producción.	20
Ilustración 9. Variedad Parainema de la línea sarchimor.....	21
Ilustración 10. Variedad lojana en producción. Fuente: INIAP, 2014.....	21
Ilustración 11. Biochar.....	22
Ilustración 12. Terras petras del Amazonas	23
Ilustración 13. Beneficios del biochar para el suelo y las plantas.....	24
Ilustración 14. Media para la variable altura de la planta.	29
Ilustración 15. Media para la variable largo de la raíz.....	31
Ilustración 15. Media para la variable largo de la raíz. . ¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 16. Media para la variable perímetro de la raíz.	33
Ilustración 16. Media para la variable perímetro de la raíz.	33
Ilustración 17. Media para el número de ramas en las plantas de café. ¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 17. Media para el número de ramas en las plantas de café.....	34
Ilustración 18. Media para el Largo de la hoja.	36
Ilustración 18. Media para el Largo de la hoja. ¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 19. Media del ancho de la hoja.	37
Ilustración 19. Media del ancho de la hoja. ¡Error! Marcador no definido.	

1. INTRODUCCIÓN

El café es originario de Abisinia actualmente conocido como Etiopía ubicado en África, su nombre científico es *Coffea sp.*, existe una gran cantidad de especies, en Ecuador se cultivan *Coffea arabica* y *Coffea canephora* con sus respectivas variedades de acuerdo al piso altitudinal, *Coffea arabica* es una especie que necesita altitud mayor a 600 msnm para potenciar su calidad mientras que *Coffea canephora* se puede cultivar desde el nivel del mar hasta 500 msnm.

En Ecuador la producción cafetalera se da en baja escala, sin embargo, su comercialización y exportación involucra directamente a miles de familias de las cuales el 75% son pequeños productores que aportan al desarrollo económico del sector y generan empleo para 700 000 familias, desde los años 90 el cultivo de café el Ecuador fue a la baja y hasta la actualidad se han abandonado cientos de hectáreas ya que las dificultades en el proceso productivo del café se incrementaron y los caficultores sustituyeron sus cafetales por otros cultivos más rentables.

La disminución de la producción de café se debe a un sinnúmero de eventos como: falta de acceso a créditos, deficiencias en la infraestructura, falta de sistemas de riego, condiciones climáticas adversas, baja productividad, incremento de plagas y enfermedades lo cual obligó a los caficultores a abandonar sus cultivos y buscar otro medio para subsistir.

Se cultiva el café en sistemas agroforestales de modo que se contribuye a la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad, PROECUADOR (2013) menciona que en el país existían 199 215 has cultivadas de las cuales el 68% es de *Coffea arabica* y su producción se concentra en Manabí, Loja y en las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes el 32% restante pertenece a *Coffea canephora* el cual se cultiva mayormente en la Amazonía.

El presente trabajo busca incorporar el uso de biochar en la producción del café, de tal manera que se puedan mejorar las propiedades físico-químicas de los suelos y otorgar resistencia a plagas y enfermedades como se ha logrado con otros cultivos que incorporaron biochar a su manejo cultural como una enmienda que evita pérdida de

nutrientes y favorece el incremento de la biomasa y del rendimiento y otorga múltiples beneficios a bajo costo.

Los objetivos de este trabajo fueron:

Objetivo general

Evaluar tres dosis de biochar en combinación con un fertilizante químico (Yaramila Complex N-P-K) sobre tres variedades comerciales de café en la provincia de El Oro.

Objetivos específicos

- ~ Determinar el efecto de 3 dosis de biochar en combinación con un fertilizante químico sobre el desarrollo y crecimiento de 3 cultivares comerciales de café.
- ~ Evaluar el efecto de 3 dosis de biochar sobre las etapas de producción de 3 variedades comerciales de café.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen del café

El café es originario de Etiopía antiguamente conocido como Abisinia (Gotteland y Saturnino, 2007), fue distribuido a Arabia y Yemen por los persas y los árabes entre los años 575 y 890, los africanos lo llevaron a Mozambique y Madagascar. Entre 1600 y 1700 llegó a Ceylán, Java e India. En 1727 llegó a Brasil desde Sumatra, luego fue distribuido a Perú y Paraguay, llegó a Panamá, Bolivia y Ecuador en 1784 (Alvarado y Rojas, 1994).

2.2 Clasificación taxonómica

El café pertenece tiene el siguiente orden taxonómico:

- ~ **Reino:** Plantae
- ~ **División:** Magnoliophyta
- ~ **Clase:** Magnoliopsida
- ~ **Orden:** Gentianales
- ~ **Familia:** Rubiaceae
- ~ **Género:** *Coffea*.

2.3 Descripción botánica

2.3.1 Raíces

Soares, *et. al.* (2008) menciona que el sistema radicular es de gran importancia porque sirve de anclaje, absorción de nutrientes y agua, la planta de café posee una raíz pivotante que se desarrolla en forma cónica y puede alcanzar una longitud de un metro a 1.5 m si las condiciones del suelo son favorables (Monroig, 2007), presenta raíces secundarias que crecen lateralmente y sirven de anclaje y raíces terciarias o raicillas que se encargan de la nutrición y absorción (Pacotaype, 2017).

2.3.2 Tallo y ramas

El cafeto es arbustivo y consta de un tallo central, presenta crecimiento vertical u ortotrópico que, al desarrollarse forma nudos y entrenudos, el segundo crecimiento es horizontal o plagiotrópico, las ramas laterales se originan en yemas de las axilas de las hojas en el tallo central, las ramas primarias plagiotrópicas originan otras ramas

secundarias y terciarias que darán origen a flores y frutos (Monroig, 2007 y Pacotaype, 2017).

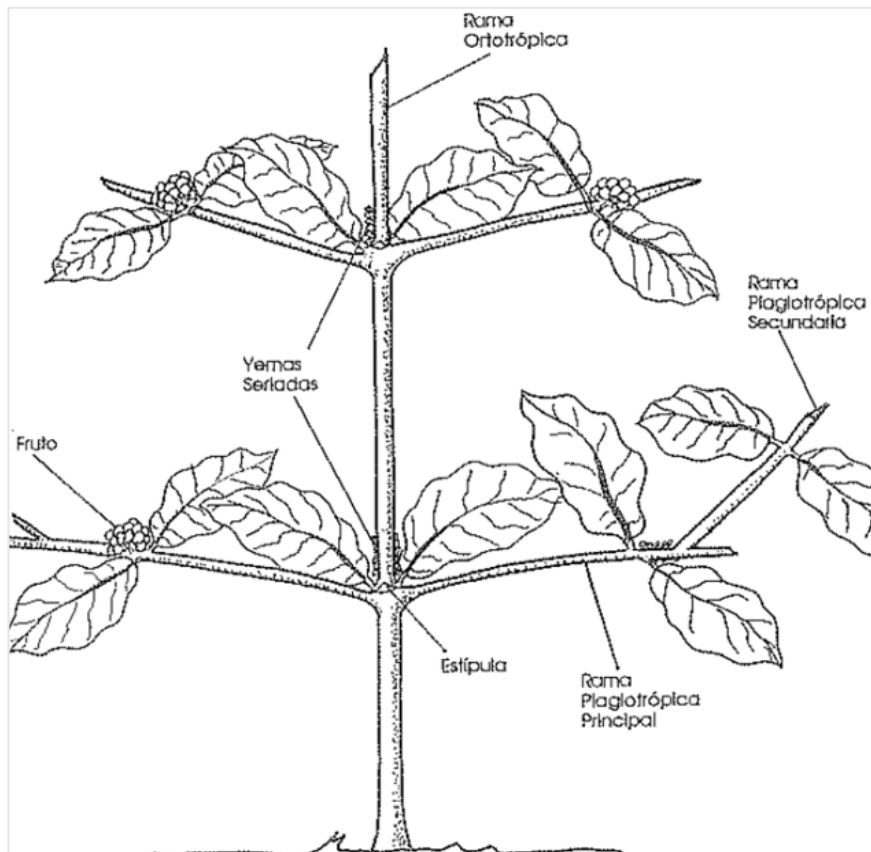


Ilustración 1. Organización del crecimiento ortotrópico y plagiotrópico.

2.3.3 Hojas

Aparecen en las ramas plagiotrópicas y en posición opuesta, tienen un peciolo corto, plano en su parte superior y convexo en inferior, la forma puede ser ovalada o lanceolada, el haz es de color verde brillante y el envés es verde claro mate (Monroig, 2007).

2.3.4 Flores

Son pequeñas, de color blanco y fragantes, puede tener de 4 a 9 pétalos dependiendo de la especie y variedad y el cáliz presenta de 4 a 5 sépalos. El florecimiento alcanza su máxima expresión entre el cuarto y quinto año. La especie *arábiga* posee polen pesado y pegajoso de tal manera que el 94% de su polinización es autopolinización y el 6% puede darse por polinización cruzada, las especies *canephora* y *liberica* son alógamas y su polen es liviano, por lo cual puede ser fácilmente transportado por el viento (Monroig, 2007).

2.3.5 Fruto

El café es una drupa de forma ovalada y ligeramente aplanada, contiene dos semillas, el fruto es de color verde y al ir madurando se hace amarillo y luego rojo, aunque en algunas variedades permanecen de color amarillo (Monroig, 2007).



Ilustración 2. Morfología de la planta de *Coffea sp.*.

2.4 Condiciones edafoclimáticas requeridas por el cultivo

2.4.1 Altitud

El café arábigo se desarrolla mejor entre los 1600 y 2000 msnm, se cultiva entre el Trópico de Cáncer (23. 5° N) y el Trópico de Capricornio (23. 5° Sur), fuera de ese rango es probable que se presenten limitaciones en el cultivo por las heladas (CENICAFE), para el café robusta *Coffea canephora* el rango altitudinal va desde el nivel del mar hasta los 600 msnm.

2.4.2 Requerimientos térmicos

La temperatura óptima para el desarrollo del café arábigo es entre 18 y 22°C y para el café robusta entre 22 y 26°C (CENICAFE).

2.4.3 Requerimientos hídricos

El requerimiento hídrico para el *Coffea arabica* está cerca de 125 mm mensuales, muchas regiones cafeteras del mundo presentan una deficiencia hídrica anual (DHA) inferior a 150 mm por lo que zonas aptas para el cultivo de café (CENICAFE), *Coffea canephora* necesita entre 1200 a 3000 mm de agua al año (INIAP, s.f.)

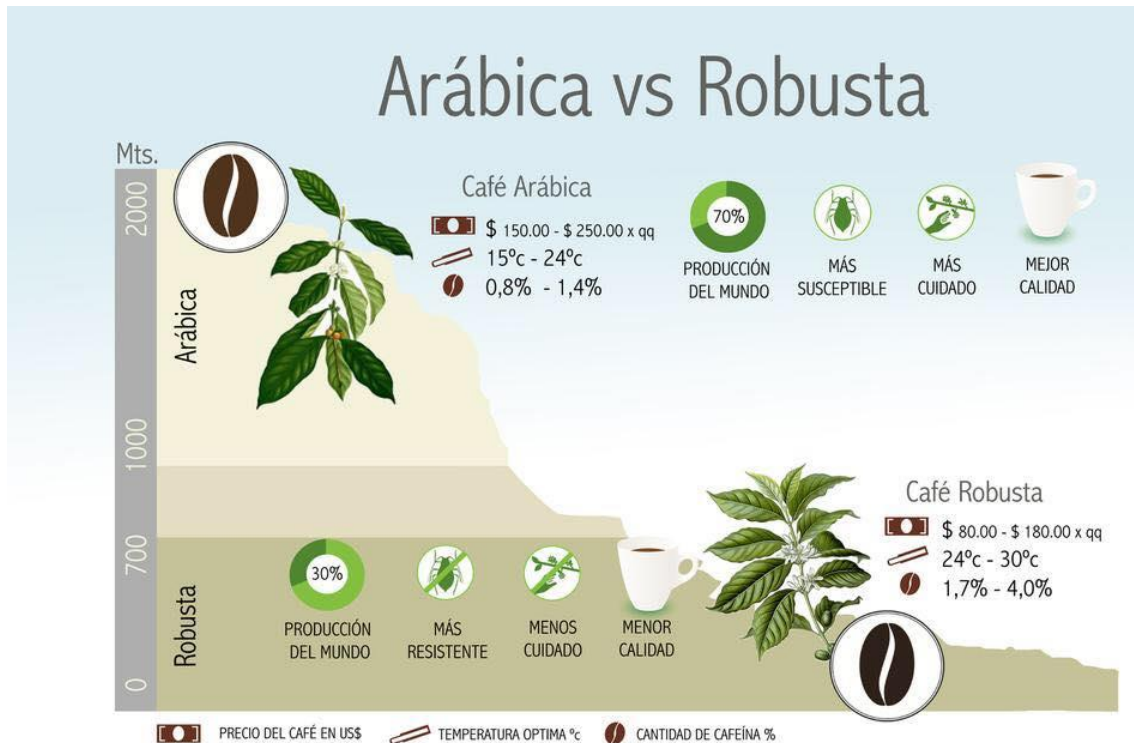


Ilustración 3. Diferencias entre Coffea arabica y Coffea canephora.

2.4.4 Efectos del viento

En el cultivo de café los vientos de velocidad superior a 2 m seg^{-1} causan efectos adversos en la altura de la planta, el número de ramas y el área foliar, los vientos mayores a 3 m seg^{-1} producen daño mecánico en el cafeto (CENICAFE).

2.4.5 Humedad relativa

Una humedad relativa superior a 85% favorece el ataque de patógenos de origen fúngico (ICAFE, 2011)

2.5 Labores culturales

2.5.1 Semilleros

Se debe usar semilla certificada y tiene que ser sembrada lo antes posible porque se empieza a deteriorar y pierde viabilidad, hay que desinfectar el sustrato como prevención al ataque de patógenos (ICAFE, 2011).



Ilustración 4. Semillero de café.

2.5.2 Selección de plántulas

Se debe seleccionar las plantas más vigorosas al momento del trasplante y evitar dañar la raíz (ICAFE, 2011).

2.5.3 Trasplante

Para llevar las plántulas del almácigo a las bolsas se debe usar un sustrato constituido por suelo suelto (50%), tamo de arroz (25%) abono orgánico descompuesto (25%). El tamaño de las bolsas puede ser de 15,2 cm * 20,32 cm y de 13,97 cm * 16,51 cm (ICAFE, 2011)..

2.5.4 Fertilización

La fertilización debe ser cuidadosa para evitar la quema de las raíces por lo que debe ser colocado a los bordes cerca de la funda o usar fertilizante de lenta liberación (ICAFE, 2011).

2.6 Principales problemas fitosanitarios del cultivo

2.6.1 Broca del café

Arcila, *et. al* (1993) determina que la broca del café, *Hypothenemus hampei* Ferrari es un coleóptero y una de las más importantes plagas en el cultivo del café, causa graves daños porque perfora el fruto y destruye la almendra reduciendo la calidad del café.

Al atacar la cereza se reproduce en el endospermo causando la pérdida del grano e inclusive la caída prematura de los frutos, esta plaga es originaria de África, luego se diseminó a los demás países productores de café.

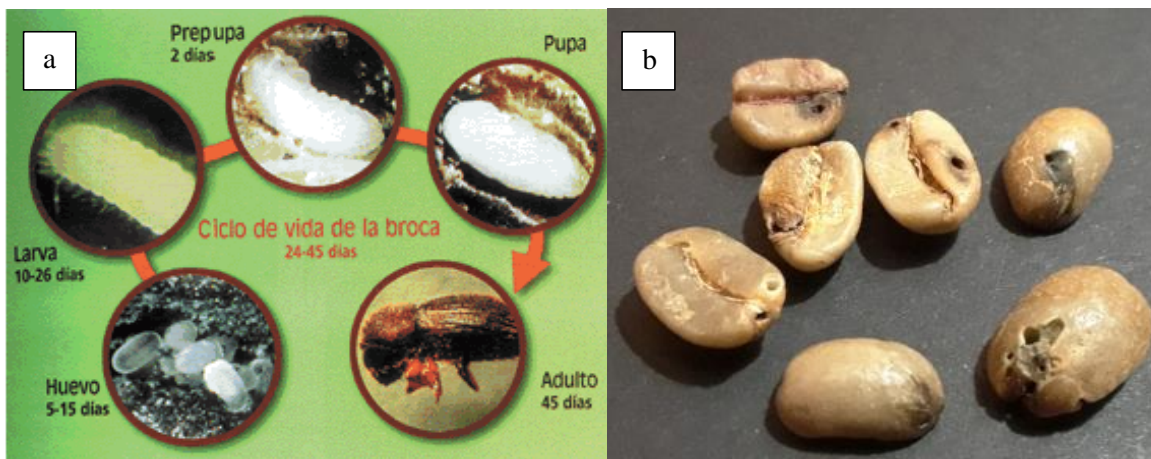


Ilustración 5. Ciclo de vida (a), daños ocasionados por la broca (b).

2.6.2 Ojo de gallo

Es una enfermedad causada por un hongo basidiomicete cuyo nombre científico es *Mycena citricolor*, esta enfermedad se presenta en cafetales de cualquier edad y bajo excesivo sombrero con elevada humedad relativa (Del Milagro, 2015).

2.6.3 Roya del café (*Hemileia vastatrix*)

La roya es una enfermedad de origen fúngico que parasita las células vegetales vivas, este hongo reduce el estado fisiológico e incrementa la susceptibilidad a otras enfermedades, existen variedades de café resistentes al ataque de este patógeno por lo que no amerita en esos casos incluir control químico para su manejo.

El hongo *Hemileia vastatrix* requiere condiciones idóneas para su desarrollo, necesita de la salpicadura de agua para iniciar su proceso de dispersión acompañado de temperaturas oscilantes entre 16 y 28°C y con poca brillo solar (Rivillas, *et. al.* 2011).



Ilustración 6. Síntoma de Hemileia vastatrix en hojas de café.

2.7 Nutrición del cultivo de café.

Valencia, G. (1999) menciona que el cultivo de café sin sombra otorga gran producción, pero exige el cumplimiento fijo de los planes de fertilización y más cuidados culturales. La planta de café necesita nutrientes como: nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, hierro, azufre, calcio, boro, zinc, manganeso, molibdeno y cloro.

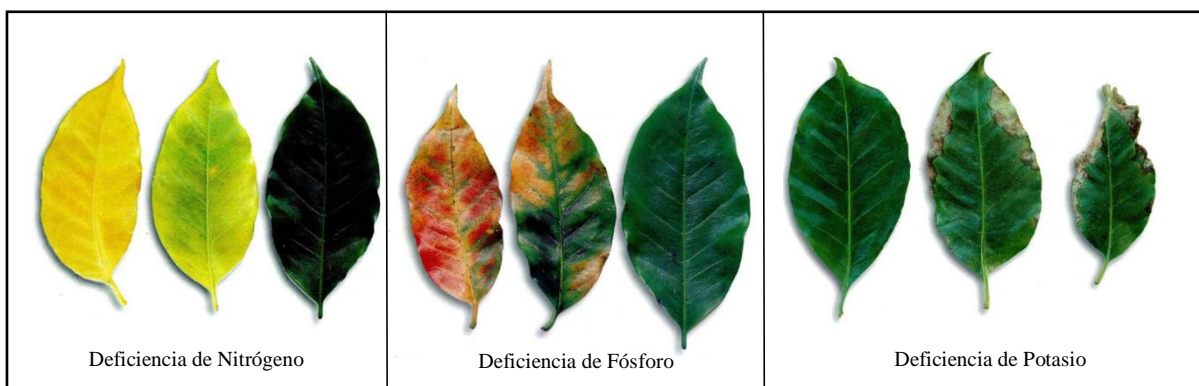


Ilustración 7. Síntomas de deficiencias nutricionales en café para los elementos mayores.

Fuente: CENICAFÉ

Las deficiencias nutricionales en el cultivo de elementos mayores presentan varios signos como el amarillamiento en las hojas viejas y su caída por déficit de nitrógeno, la presencia de manchas amarillas con decoloraciones rojizas son signo de deficiencia de fósforo, los enrollamientos de los bordes y las puntas son síntoma de deficiencia de potasio.

2.8 Variedades de café en estudio

2.8.1 Conilón

Esta variedad pertenece a *Coffea canephora*, tipo robusta, ideal para ser cultivada al nivel del mar, se caracteriza por una producción de granos grandes y de una excelente calidad, existe una variabilidad en la población por tamaño de cereza y uniformidad de madurez, lo que a su vez da oportunidad de mejorar estas características obteniendo cultivares superiores en calidad y productividad (Gava Ferrão *et al.*, 2008). Este cultivar es más productivo cuando se encuentra con sistemas intercalados y parcialmente sombreados, es recomendada para agricultores familiares por su resistencia a la sequía (Herzog *et al.*, 2020).



Ilustración 8. Café conilón en producción.

2.8.2 Sarchimor

Esta variedad se originó a partir del cruce del Híbrido de Timor y Villa Sarchi (café bourbon), la variedad sarchimor es resistente a la roya heredada del Híbrido de Timor, Las plantas de Sarchimor son de porte bajo, brotes de color verde o bronce, con alta producción y es muy adaptado a zonas de baja y media altitud (Velásquez, 2016), esta variedad tiene buena productividad y tolerancia a algunas plagas lo cual la hace muy popular entre las variedades de café (Velásquez, 2016).



Ilustración 9. Variedad Parainema de la línea sarchimor.

2.8.3 Lojana

Dentro de la especie Robusta mencionamos al cultivar de café lojana, el rendimiento promedio es de 0,48 t ha⁻¹ (Duicela, *et al.*, 2018). Las características principales de este cultivar es su altura de 3,10 metros (Arzube, *et al.*, 2017), estos granos de café contienen más sacarosa que fructuosa y glucosa, lo que permite ser distinguido de otros granos de otras regiones y que influye en una mejor calidad de grano (Zambrano *et al.*, 2018).



*Ilustración 10. Variedad lojana en producción.
Fuente: INIAP, 2014*

2.9 El biochar

El IBI (Iniciativa Internacional del Biochar) menciona que el biochar o biocarbón resulta de la carbonización de la biomasa en ausencia de oxígeno, se le conoce como carbón negro o carbón pirogénico, actualmente es usado como enmienda edáfica para incrementar la fertilidad de los suelos e inclusive mitigar los efectos del cambio climático (Zimmerman, 2010; Woolf *et al.*, 2010 & Lehmann *et al.*, 2011; IBI, 2018).



Ilustración 11. Biochar.

2.9.1 Origen del biochar

El descubrimiento de los suelos negros del amazonas conocidos como Terra Petra de Indio dieron origen al interés en el uso del biochar, en estos suelos las antiguas culturas indígenas incorporaron desechos de sus hogares, restos de cultivos, cerámicas y otros materiales de origen orgánico que con el pasar de los años fue creando una gran capa de entre a 0,50 cm a 2 m de profundidad lo cual elevó la fertilidad de los suelos y les permitió asentarse definitivamente en un área geográfica sin acabar con la fertilidad del suelo y poder subsistir, la Terra Petra de Indio tiene un gran contenido de materia orgánica carbonosa y nutrientes como manganeso, fósforo, zinc y calcio (Sohi *et al.* 2010 & Steiner *et al.* 2008).



Ilustración 12. Terras petras del Amazonas

2.9.2 Materia prima para crear biochar

El biochar como producto de la carbonización es sólido, biológica y químicamente más estable que la materia con la que fue creado, la temperatura oscila entre 400 a 700°C, puede realizarse en hornos comunes, fogatas y modernas biorrefinerías (Preston, 2013), su producción incorpora técnicas eficientes que disminuyen la producción de gases y los aprovechan, para hacer biochar se puede usar restos de industria maderera, restos de podas de frutales, raquis de banano, tamo de arroz, tuzas de maíz entre otros materiales de desecho de agroindustria e inclusive desechos animales (Refertil, 2014).

2.9.3 Uso del biochar en el suelo y los cultivos

El biochar es aplicado al suelo por tres razones fundamentales (Sohi *et al.*, 2010):

- ~ El suelo parece tener capacidad de acomodar biochar para la mitigación del cambio climático a largo plazo.
- ~ El potencial del biochar para mejorar la productividad agrícola del suelo.

- ~ La posible supresión del metano y la liberación de óxido nitroso incrementan el valor del biochar como un medio para compensar las emisiones de gases de efecto invernadero causados por la agricultura.

2.9.4 Efectos del biochar en los suelos

Los efectos del biochar en el suelo son variados y beneficiosos, comprenden: mejora la capacidad de intercambio catiónico (CIC), retiene nutrientes, evita la lixiviación y la volatilización porque encapsula los nutrientes, disminuye la cantidad de aluminio intercambiable en el suelo (Steiner *et al.*, 2007; Laird *et al.* 2010 y Busscher *et al.* 2010), mejora la actividad biológica y favorece el secuestro de carbono (Gaskin *et al.* 2008), pone a disponibilidad de la planta los nutrientes, estimula la simbiosis microbiana y hace más eficiente la aplicación de fertilizantes (Glaser *et al.* 2002; Lehman *et al.* 2003 & Schmidt, 2012), mejora la producción y rendimiento de los cultivos e incrementa la biomasa (Rondon, 2007; Kimetu *et al.* 2008 & Chan *et al.* 2008).

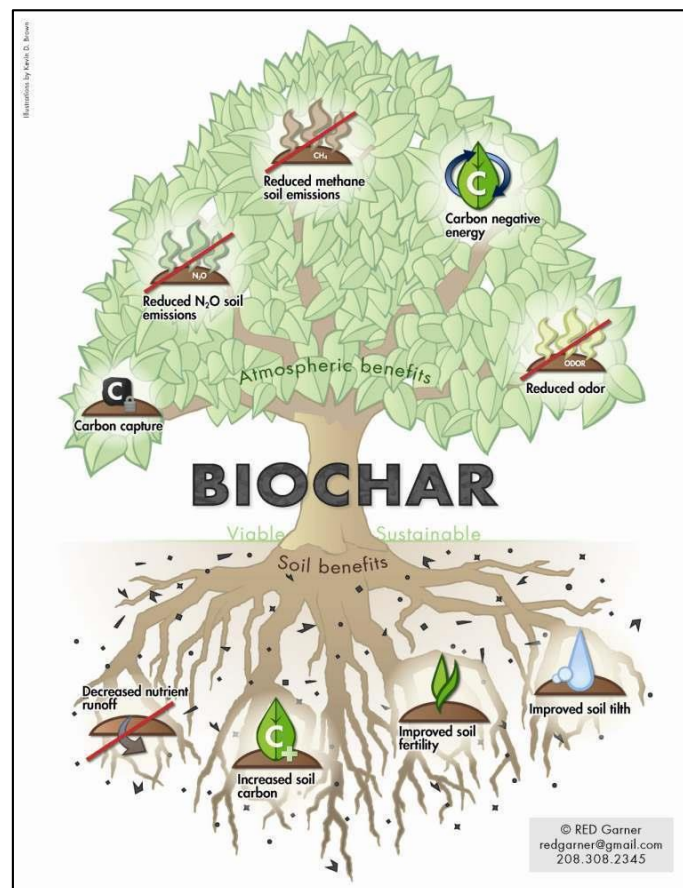


Ilustración 13. Beneficios del biochar para el suelo y las plantas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

3.1.1 Localización del ensayo

El estudio se realizó en la Granja Experimental “Santa Inés” de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, perteneciente a la Universidad Técnica de Machala. Ubicada en la Av. Panamericana km. 5 ½ Vía Pasaje en la Provincia de El Oro.

3.1.2 Ubicación geográfica

Geográficamente, el sitio de estudio se encuentra ubicado entre las siguientes coordenadas:

Coordenadas: UTM (Universal Transverse Mercator)

Datum: WGS 84 (World Geodetic System 1984)

Zona: 17 S

Coordenada Este: 620746 E

Coordenada Norte: 9636196 S

Altitud: 6 msnm

3.1.3 Clima y ecología

El sitio del ensayo de acuerdo a las zonas de vida natural de Holdridge y el mapa ecológico del Ecuador, tiene condiciones agroclimáticas con 2 a 3 horas de heliofanía diarias, una temperatura 25°C y 500 mm de precipitación anual que corresponde a un bosque muy seco – Tropical (bms – T).

3.1.4 Materiales

Para la realización de esta investigación se utilizaron 48 plantas de café de 3 variedades las cuales son Conilón (16 plantas), Sarchimor (16 plantas) y Lojana (16 plantas), donadas por el Municipio de Zaruma del semillero de Café.

3.1.4.1 Materiales de campo

- ~ Palas
- ~ Machete
- ~ Cuaderno de notas
- ~ Bomba de riego
- ~ Balanza gramera
- ~ Baldes
- ~ Cinta métrica
- ~ Plantas de café
- ~ Biochar

3.1.4.2 Diseño del experimento

Este estudio usó un área de 286 m² donde se establecieron 3 variedades de café, asignando 3 tratamientos y un tratamiento control, cada uno conformado por 4 unidades experimentales. Para las 3 variedades se utilizó las mismas dosis por tratamiento que consisten en: (T1: 5 gr de biochar + 20 gr de Yaramila complex, T2: 10 gr de biochar + 20 gr de Yaramila complex, T3: 15 gr de biochar + 20 gr de Yaramila complex) a diferencia del tratamiento control T0 que no se le realizó ninguna aplicación.

3.1.5 Variables evaluadas

Los parámetros evaluados dentro del proceso de esta investigación fueron altura de planta, área foliar, ancho y largo de raíz, número de ramas.

3.2 Metodología

3.2.1 Metodología para la siembra

Fueron sembradas el 12 de mayo del 2019 en campo, con una distancia entre planta de 2 m, y el hoyado para la siembra fue de 20*20*20 cm, realizando la primera aplicación de los tratamientos al momento de la siembra.

3.2.2 Metodología para el control de arvenses

Se lo realizó de forma manual con machete cada 2 semanas.

3.2.3 Metodología para aplicación de riego

Se estableció un programa de riego de acuerdo a las necesidades hídricas del cultivo el cual fue de 2 riegos por semana de 2 horas cada turno.

3.2.4 Metodología para la aplicación de tratamientos

Por medio de aplicación edáfica de acuerdo a los tratamientos asignados.

- ~ **T3:** 15 gr de biochar + 20 gr de Yaramila complex
- ~ **T2:** 10 gr de biochar + 20 gr de Yaramila complex
- ~ **T1:** 5 gr de biochar + 20 gr de Yaramila complex
- ~ **T0:** 0 g de biochar + 0 gr de Yaramila complex

3.2.5 Metodología para determinar la altura de la planta

Para la medición de esta variable se utilizó una cinta métrica y el dato fue expresado en (cm), realizando la medición desde la superficie del suelo hasta el ápice del tallo principal. Datos que fueron tomados cada 7 días.

3.2.6 Metodología para determinar el área foliar

Para el cálculo del área foliar se tomaron los siguientes descriptores de 3 hojas por planta de cada tratamiento; largo de hoja (cm), ancho de hoja (cm), longitud desde la base hasta el punto más ancho de la hoja (LBA cm), relación largo ancho de la hoja (RL/AH cm), forma de la hoja, forma de la base y forma del ápice.

3.2.7 Metodología para determinar el largo y ancho de raíces

Para determinar esta variable procedimos a retirar la planta cuidadosamente, excavando al redor de la planta 40 cm de ancho por 40 cm de largo y 60 cm de profundidad, para luego colocarla en un recipiente limpio, lavarlas y secarlas. Con ayuda de una cinta métrica se tomó el largo y ancho de las raíces (cm).

3.2.8 Metodología para el conteo de número de ramas

Se realizó un conteo de número de ramas a todas las plantas que se utilizaron para el estudio (48 plantas).

4. RESULTADOS

4.1 Anova de las variables analizadas

Para verificar cual dosis es la óptima en las tres variedades utilizadas realizamos un ANOVA para determinar si existió significancia entre los tratamientos, cuyos resultados se evidencia en la tabla 1, se verifica que existe significancia en las variables AP, LR, AR, AH, RLAH y FH, mientras que las variables NR, LH Y LBH no existe diferencia significativa porque su valor es mayor a 0.05 según el análisis estadístico.

Tabla 1. Anova para determinar la significancia entre variables.

		ANOVA				
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
AP	Entre grupos	9642.167	11	876.561	3.914	.001
	Dentro de grupos	8062.250	36	223.951		
	Total	17704.417	47			
LR	Entre grupos	3380.524	11	307.320	30.078	.000
	Dentro de grupos	367.833	36	10.218		
	Total	3748.358	47			
AR	Entre grupos	5838.029	11	530.730	9.727	.000
	Dentro de grupos	1964.271	36	54.563		
	Total	7802.300	47			
NR	Entre grupos	597.563	11	54.324	2.042	.053
	Dentro de grupos	957.750	36	26.604		
	Total	1555.313	47			
LH	Entre grupos	12.046	11	1.095	.716	.716
	Dentro de grupos	55.071	36	1.530		
	Total	67.118	47			
AH	Entre grupos	7.136	11	.649	2.755	.011
	Dentro de grupos	8.478	36	.235		
	Total	15.613	47			
LBAH	Entre grupos	4.941	11	.449	1.142	.360
	Dentro de grupos	14.162	36	.393		
	Total	19.103	47			
RLAH	Entre grupos	1.893	11	.172	2.819	.009
	Dentro de grupos	2.197	36	.061		
	Total	4.090	47			
FH	Entre grupos	.309	11	.028	2.353	.026
	Dentro de grupos	.430	36	.012		
	Total	.739	47			

4.2 Variable altura de la planta (AP)

La tabla 2 para la variable AP con la prueba de Tukey muestra la formación de dos grupos donde resalta que el ST3BY15 y ST3BY5 presentan mayor altura con 76 cm mientras que el CT0BY0 y LT0BY0 presentan las menores alturas de planta con 34,62 y 35,75 cm respectivamente.

Tabla 2. Análisis de varianza de altura de planta en plantaciones de café, mediante la prueba de Tukey.

		AP		
		Subconjunto para alfa = 0.05		
	TRATAMIENTOS	N	1	2
HSD Tukey ^a	CT0BY0	4	34.6250	
	LT0BY0	4	35.7500	
	CT3BY15	4	39.8750	39.8750
	CT2BY10	4	41.7500	41.7500
	CT1BY5	4	42.3750	42.3750
	LT2BY10	4	42.8750	42.8750
	LT1BY5	4	48.7500	48.7500
	LT3BY15	4	50.8750	50.8750
	ST0BY0	4	52.3750	52.3750
	ST2BY10	4	67.8750	67.8750
	ST3BY15	4		76.0000
	ST1BY5	4		76.3750
	Sig.			.111

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4.000.

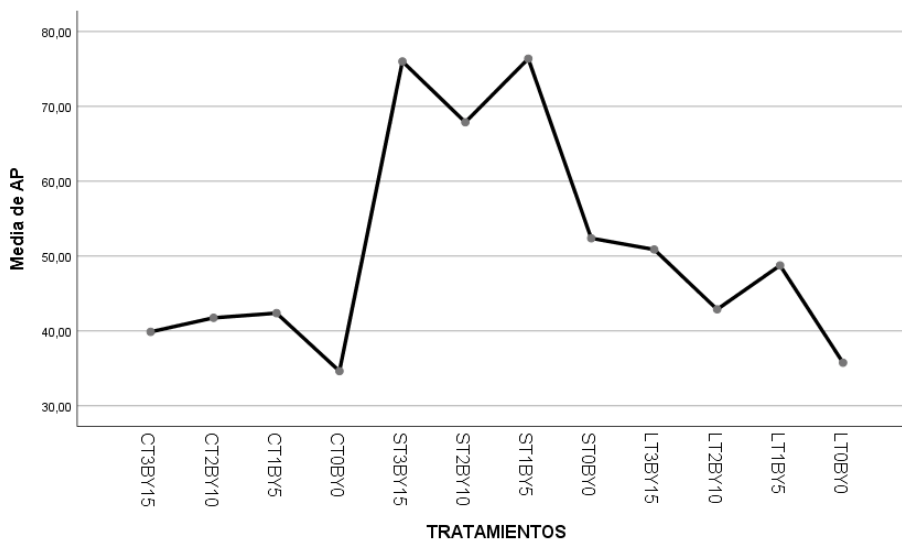


Ilustración 14. Media para la variable altura de la planta.

La ilustración 14 para la variable AP indica que la variedad Sarchimor obtuvo una mayor altura de plantas en los tratamientos asignados, los tratamientos ST3BY15 y ST1BY5 presentan una altura de 75 cm, mientras que las alturas más bajas entre las tres variedades analizadas son todas aquellas a las que no se realizó aplicación de biochar LTBY0, ST0BY0 y CT0BY0.

Entre las variedades Sarchimor y Lojana hay una relación en función de la cantidad de biochar aplicado, las dosis de 5 y 15 g presentan mayor altura que aquellas en las que se colocó 10 g de biochar.

Se observa mayor sinergia con dosis de 5 y 15 g de biochar con el fertilizante, el biochar tiene el beneficio de incrementar la biomasa de los cultivos, dando la posibilidad de tener mayor altura en las plantas bajo tratamiento, además pone a disponibilidad de la planta los nutrientes y evita su pérdida (Glaser *et al.* 2002; Lehman *et al.* 2003).

4.3 Variable largo de raíz (LR)

La prueba de Tukey para el largo de raíz presenta la formación de 5 grupos entre los que se destaca el CT2BY10 con la raíz más pequeña con 23,66 cm y el ST3BY15 con 54 cm de largo radicular, existiendo gran variabilidad entre tratamientos.

Tabla 3. Análisis de varianza del largo de raíz en plantaciones de café, mediante la prueba de Tukey.

		LR						
		Subconjunto para alfa = 0.05						
	TRATAMIENTOS	N	1	2	3	4	5	
HSD Tukey ^a	CT2BY10	4	23.6675					
	LT0BY0	4	25.0000					
	CT3BY15	4	26.0000					
	CT1BY5	4	28.3325	28.3325				
	ST1BY5	4	29.0000	29.0000				
	ST0BY0	4	30.0000	30.0000				
	CT0BY0	4	31.0000	31.0000				
	ST2BY10	4		34.0000	34.0000			
	LT2BY10	4		35.0000	35.0000			
	LT1BY5	4			40.0000	40.0000		
	LT3BY15	4				43.0000		
	ST3BY15	4					54.0000	
	Sig.			.089	.166	.289	.970	1.000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4.000.

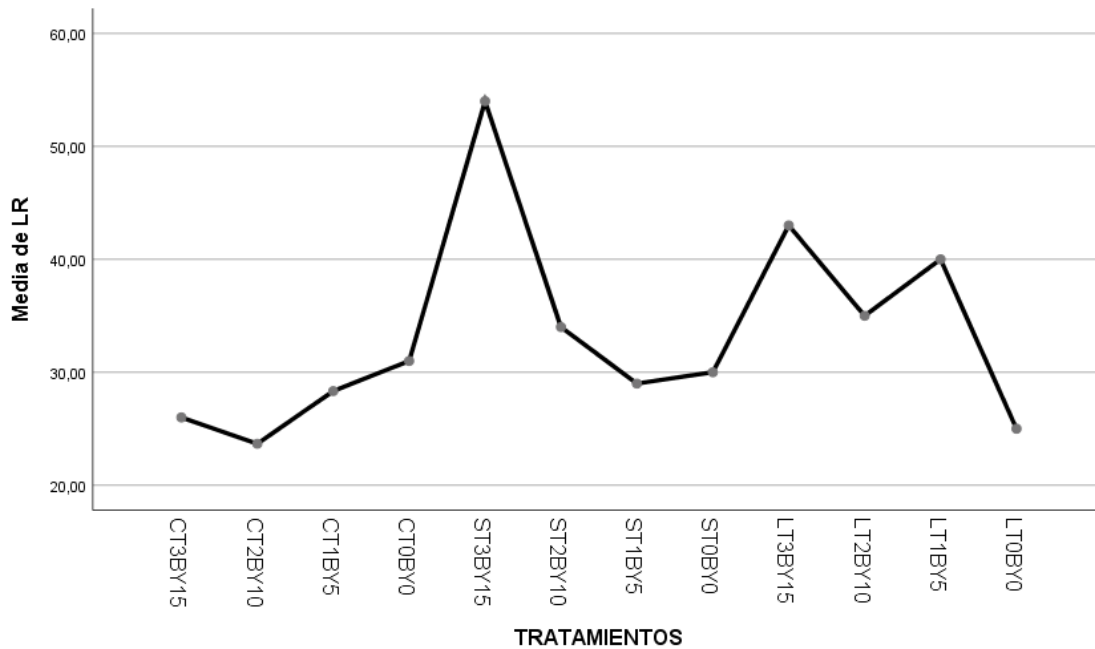


Ilustración 15. Media para la variable largo de la raíz.

La ilustración 15 para la variable largo de raíz es significativa según previa anova, observamos su medias donde se indica que los tratamientos ST3BY15 y LT3BY15 presentan mayor elongación radicular con 53 y 43 cm respectivamente, las variedades Sarchimor y Lojana presentan una respuesta positiva al desarrollo radicular con la mezcla de biochar y fertilizante mientras que la variedad Conilón no obtiene gran variación entre los tratamientos y el testigo siendo una respuesta decreciente a la aplicación de biochar y fertilizante.

Arcila, (2007) indica que las plantas de *Coffea arabica* de entre 6 a 9 años presentan una raíz pivotante muy fuerte que no va más allá de 45 cm de profundidad, bajo estos estándares se atribuye el incremento del desarrollo radicular a la adición de biochar que activó las micorrizas y estas a su vez estimularon el desarrollo del sistema radicular con una mejor captación de nutrientes en especial el fósforo que se encuentra asociado con el incremento de la tasa de crecimiento de las raíces (Engormix, 2006 & Camargo, *et al.* 2012).

4.4 Perímetro de raíz

La tabla 4 para el perímetro que abarca la raíz extendida, muestra que esta variable es muy significativa entre los tratamientos, con la prueba de Tukey forma 5 grupos, el tratamiento CT3BY15 tiene un perímetro radicular de 31,62 cm siendo el más pequeño mientras que el LT1BY5 presenta el mayor desarrollo a nivel radicular con una extensión de 71 cm, considerando los resultados anteriores LT1BY5 no tiene la mayor altura, ni el mayor largo de raíz, se considera que el perímetro que abarca la raíz es independiente del largo de la raíz, siendo una característica propia la genética del café porque este comportamiento se observa en todos los tratamientos evaluados.

Tabla 5. Análisis de varianza del perímetro de raíz en plantaciones de café, mediante la prueba de Tukey.

		AR					
		Subconjunto para alfa = 0.05					
	TRATAMIENTOS	N	1	2	3	4	5
HSD Tukey ^a	CT3BY15	4	31.6250				
	CT1BY5	4	40.6675	40.6675			
	ST3BY15	4	41.0000	41.0000			
	ST0BY0	4	42.0000	42.0000	42.0000		
	ST1BY5	4		50.0000	50.0000	50.0000	
	LT0BY0	4		51.0000	51.0000	51.0000	
	CT2BY10	4		53.6675	53.6675	53.6675	53.6675
	LT2BY10	4		53.7500	53.7500	53.7500	53.7500
	CT0BY0	4			60.0000	60.0000	60.0000
	ST2BY10	4			60.0000	60.0000	60.0000
	LT3BY15	4				66.0000	66.0000
	LT1BY5	4					71.0000
		Sig.		.699	.369	.056	.132

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4.000.

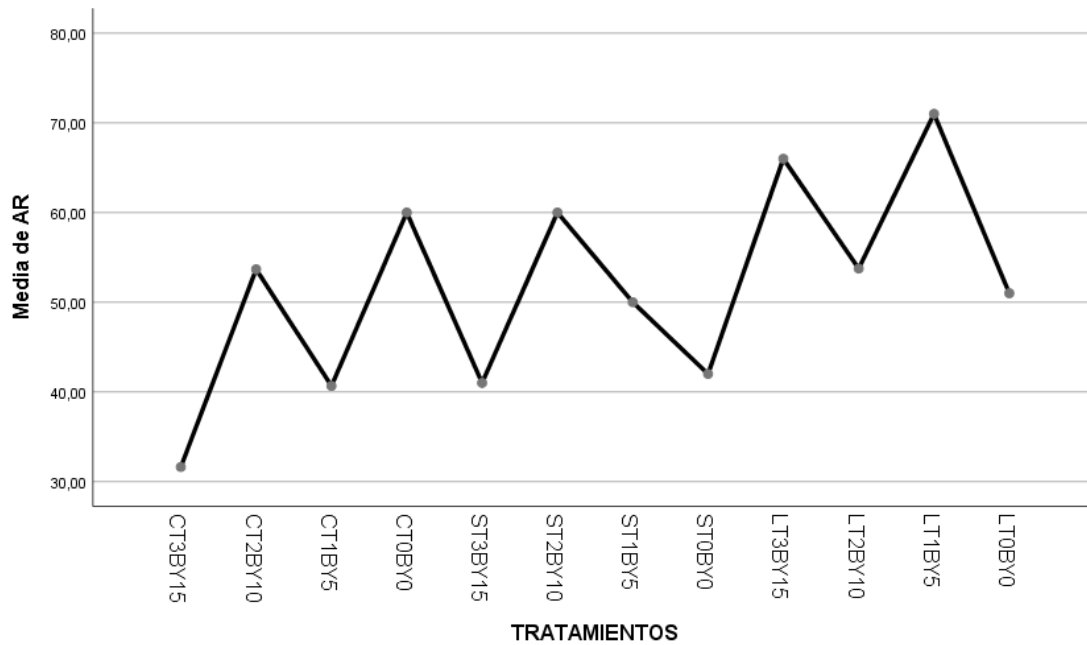


Ilustración 16. Media para la variable perímetro de la raíz.

La ilustración 16 para la variable perímetro de la raíz demuestra que todos los tratamientos presentan diferente comportamiento en su desarrollo radicular, al ser comparados con el largo de raíz el perímetro que alcanza la raíz es mayor que su largo, se atribuye esta característica a la genética del café que hace que la raíz se exprese de esta manera, las raíces laterales penetran hasta dos o tres metros de profundidad a diferencia de la raíz principal que alcanza un poco más de 45 cm (Arcila, J. 2007).

4.5 Variable número de ramas

Según la tabla 5 el número de ramas es mayor en aquellos tratamientos donde se usó la variedad Sarchimor presentando un incremento de acuerdo a la cantidad de biochar adicionada, el testigo ST0BY0 presenta 11.75 ramas mientras que ST2BY10 tiene 14, ST1BY5 tiene 15 ramas y el ST3BY15 presenta 16 ramas, los demás tratamientos presentan una menor cantidad de ramas, considerando que Sarchimor tiene una altura más elevada presentará mayor cantidad de ramas laterales en comparación a las demás variedades que son más pequeñas.

Tabla 7. Análisis de varianza del número de ramas en plantaciones de café, mediante la prueba de Tukey.

NR

		Subconjunto para alfa = 0.05	
	TRATAMIENTOS	N	1
HSD Tukey ^a	LT0BY0	4	4.7500
	LT2BY10	4	5.7500
	CT2BY10	4	6.5000
	LT1BY5	4	7.5000
	CT3BY15	4	8.0000
	CT1BY5	4	8.7500
	LT3BY15	4	9.7500
	CT0BY0	4	10.0000
	ST0BY0	4	11.7500
	ST2BY10	4	14.0000
	ST1BY5	4	15.0000
	ST3BY15	4	16.0000
	Sig.		

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4.000.

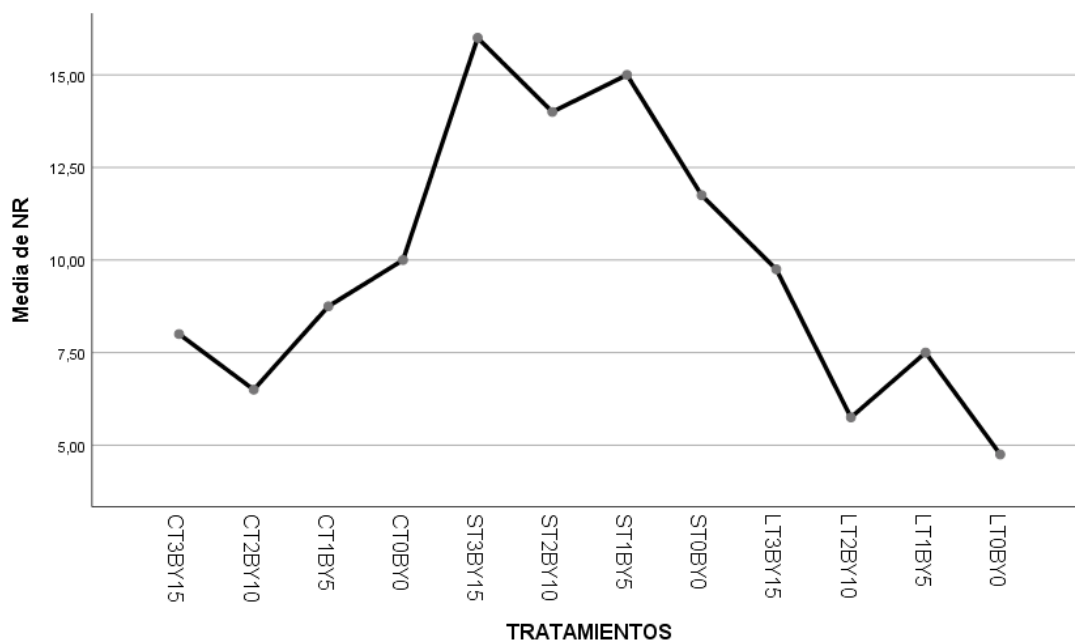


Ilustración 18. Media para el número de ramas en las plantas de café.

La ilustración 17 muestra el desarrollo de la curva para los tratamientos en la variedad Sarchimor mientras que para las variedades Lojana y Conilón el número de ramas es visiblemente menor especialmente para la variedad lojana que no ha logrado un gran desarrollo en altura y por lo que no presenta muchas ramas.

La cantidad de ramas existentes en la planta depende totalmente de su altura, la variedad Sarchimor presenta una mayor altura en todos los tratamientos lo cual la hace tener un incremento de ramas, es probable que el biochar logre que la variedad Sarchimor exprese todo su potencial genético al momento de desarrollarse y que su producción de biomasa se vea estimulada (Schmidt, 2012).

4.6 Variable largo de la hoja (LH)

Según la tabla 6 y el anova previo, el largo de la hoja no es significativo ya que sus valores oscilan entre 10.6 a 12.6. El largo de la hoja es independiente de la altura y de la cantidad de ramas existentes, pero es dependiente de la variedad a la que representa.

Tabla 9. Análisis de varianza del largo de la hoja en plantaciones de café, mediante la prueba de Tukey.

LH

	TRATAMIENTOS	N	Subconjunto para alfa = 0.05
HSD Tukey ^a	LT3BY15	4	10.6250
	LT2BY10	4	10.9750
	ST1BY5	4	11.4750
	LT0BY0	4	11.5500
	CT1BY5	4	11.6750
	CT3BY15	4	11.6900
	ST2BY10	4	11.7750
	LT1BY5	4	11.8750
	CT0BY0	4	11.9000
	CT2BY10	4	12.0000
	ST0BY0	4	12.0750
	ST3BY15	4	12.6750
	Sig.		

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4.000.

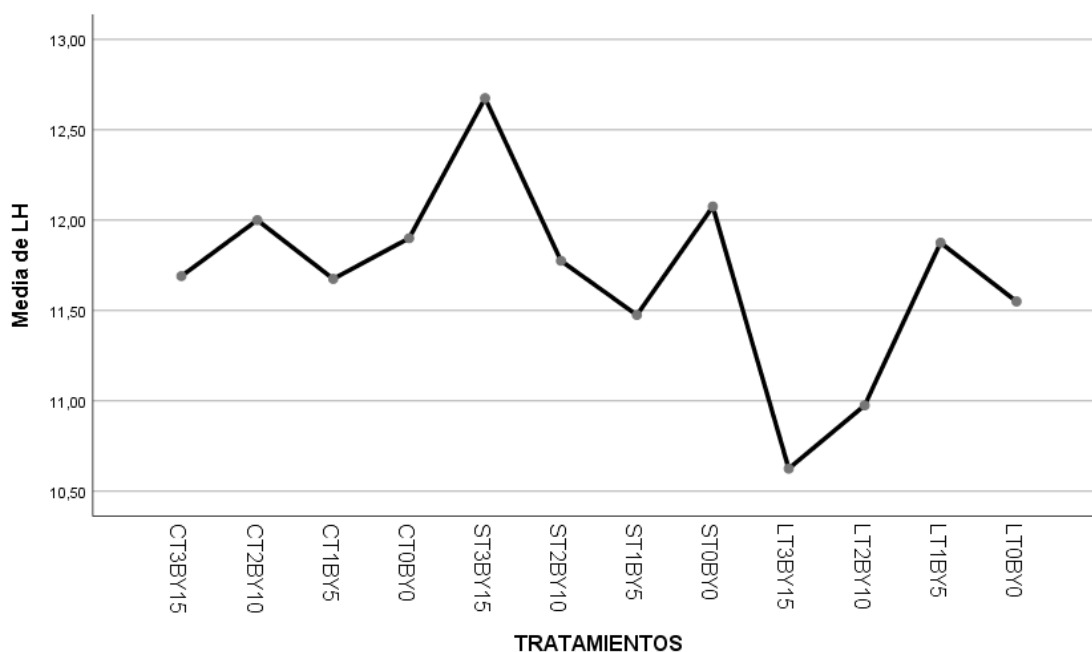


Ilustración 19. Media para el Largo de la hoja.

La ilustración 18 hace evidente que el largo de la hoja depende de la variedad a la que representa y luego su mayor o menor expresión puede ser fomentada por el biochar.

Para la variedad Conilon el largo de la hoja es mayor en CT2BY10 mientras que los otros tratamientos son muy parecidos, la variedad Sarchimor en el tratamiento ST3BY15 presenta el mayor largo y la variedad Lojana en LT1BY5.

4.7 Variable ancho de hoja (AH)

El ancho de la hoja no presenta variación significativa entre tratamientos bajo análisis de Tukey, los valores para esta variable están entre 4.67 cm y 5.82 cm, los tamaños de ancho y largo de hoja se corresponden entre sí. El mayor ancho de las hojas se presenta en el tratamiento de la variedad Sarchimor la cual ha reaccionado favorablemente a la aplicación de biochar teniendo los valores más altos de ancho de hojas con respecto a las variedades Lojana y Conilón.

Cabe recalcar que el biochar al potenciar la acción del fertilizante ha logrado otorgar incrementos de biomasa que se traducen en mayor altura, mayor largo y ancho de hojas,

al ser la lámina foliar más grande el proceso fotosintético se verá beneficiado (Rondon, 2007 y Kimetu *et al.* 2008).

Tabla 11. Análisis de varianza del ancho de hoja en plantaciones de café, mediante la prueba de Tukey.

AH

		Subconjunto para alfa = 0.05	
		N	1
HSD Tukey ^a	TRATAMIENTOS		
	CT3BY15	4	4.6750
	CT1BY5	4	4.6750
	CT0BY0	4	4.7750
	LT3BY15	4	4.8250
	LT0BY0	4	4.8750
	CT2BY10	4	4.9250
	LT2BY10	4	4.9500
	ST1BY5	4	5.0250
	LT1BY5	4	5.2500
	ST2BY10	4	5.3500
	ST3BY15	4	5.8250
	ST0BY0	4	5.8250
	Sig.		.069

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4.000.

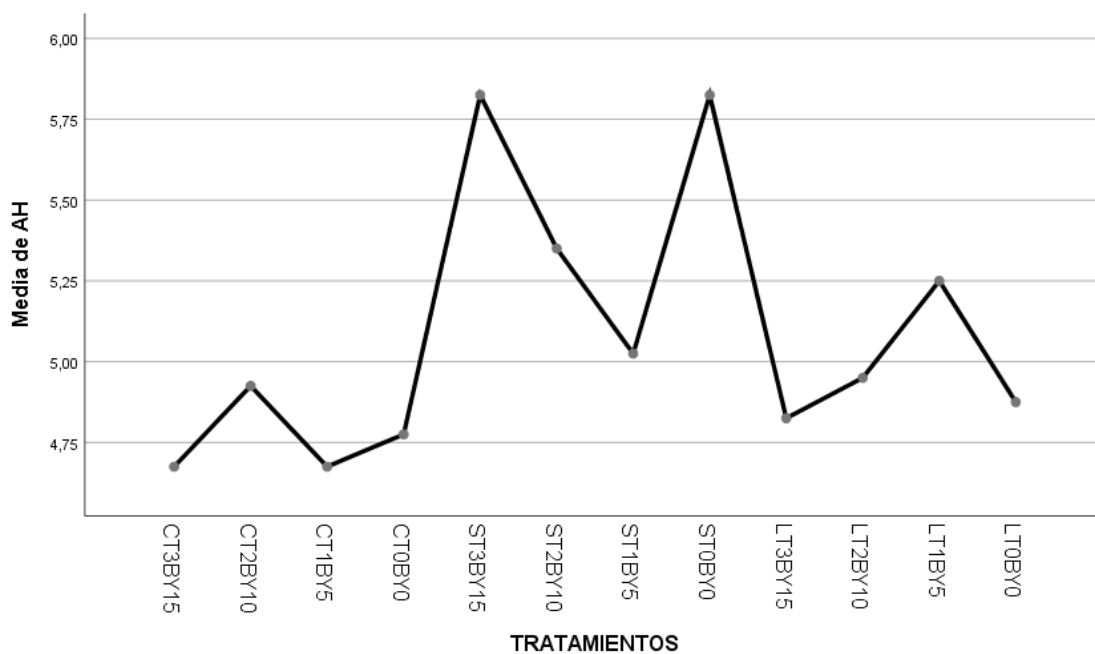


Ilustración 20. Media del ancho de la hoja.

En la ilustración 19 se observa que los tratamientos con el mayor ancho de hoja fueron en la variedad Sarchimor ST0BY0 y ST3BY15 mientras que los valores más bajos los tiene la variedad Conilon con los tratamientos CT1BY5 y CT3BY15. La variedad Sarchimor ha reaccionado favorablemente a la aplicación de la mezcla de fertilizante y biochar dando mejores resultados.

5. CONCLUSIONES

- ~ La variedad Sarchimor fue la que mejor respondió en cuanto a altura de planta y largo de raíz, los mejores resultados se obtuvieron con dosis de 5 y 15 g de biochar con fertilizante.
- ~ La variedad Lojana tuvo buena respuesta a la adición de 5 y 15 g de biochar con fertilizante para las variables largo de raíz y altura de planta.
- ~ La variedad Conilon respondió favorablemente para la adición de 5 y 15 g de biochar con fertilizante a las variables analizadas, pero con valores mucho mas bajos que las variedades Sarchimor y Lojana.
- ~ La adición de biochar y fertilizante incrementó la biomasa en las variedades en estudio y mejoró la fitosanidad radicular.

6. RECOMENDACIONES

- ~ Se recomienda usar biochar en mezcla con fertilizantes para potenciar el incremento de biomasa y la absorción de nutrientes.
- ~ La variedad Sarchimor es importante comercialmente y reacciona favorablemente a la adición de biochar con 5 y 15 g.
- ~ Se debería continuar el estudio del biochar y su impacto en el cultivo de café hasta la cosecha.

7. LITERATURA CITADA

- Alvarado, M y Rojas, G. (1994). *Cultivo y beneficiado del café*. EUNED. ISBN 9977-64-768-2. Disponible en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=15qrSG-5114C&oi=fnd&pg=PA3&dq=ORIGEN+DEL+CAFE&ots=OgUav2Nb4K&sig=NqwCrMaEx-X1KjKq6tCcwk_RcZs#v=onepage&q=ORIGEN%20DEL%20CAFE&f=false
- Arcila, J., Jaramillo, A., Baldion, J. V., & Bustillo, A. E. (1993). *La floración del café y su relación con el control de la broca*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/1044/1/avt0193.pdf>
- Arcila Pulgarín, J. (2007). Crecimiento y desarrollo de la planta de café. *Sistemas de producción de café en Colombia*. Cenicafe, Chinchina, Colombia, 21-60. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo2.pdf>
- Arzube Mayorga, M., Orrala Borbor, N., León Mejía, Á., & Ramírez Flores, L. (2017). Comportamiento productivo de clones de café robusta (*Coffea Canephora* p) en Manglaralto, Ecuador. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 4(1), 34–38. <https://doi.org/10.26423/rctu.v4i1.237>
- Busscher, W. J., Novak, J. M., Evans, D. E., Watts, D. W., Niandou, M. A. S., & Ahmedna, M. (2010). Influence of pecan biochar on physical properties of a Norfolk loamy sand. *Soil Science*, 175(1), 10-14. Disponible en: <https://pubag.nal.usda.gov/download/38916/PDF>
- Camargo_Ricalde, S. L., ARIAS, N. M. M., MERA, C. J. D. L. R., & ARIAS, S. A. M. (2012). Micorrizas: Una gran unión debajo del suelo. Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.13/num7/art72/>
- (s.f.). La agroclimatología del cafeto. Clima andino y café en Colombia. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/859/17/15.%20Agroclimatolog%C3%ADa%20cafeto.pdf>

- Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., & Joseph, S. (2008). Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Soil Research*, 45(8), 629-634. Recuperado de: <http://www.publish.csiro.au/sr/sr07109>
- Del Milagro Granados Montero, M. (2015). *Estudio de la epidemiología y alternativas de manejo agroecológico del ojo de gallo (Mycena citricolor) en café bajo sistemas agroforestales en Costa Rica* (Doctoral dissertation, Universidad de Costa Rica). Disponible en: https://agritrop.cirad.fr/580115/1/TESIS_MILAGRO_GRANADOS_Mycena_citricolor.pdf
- Duicela, L., Andrade, J., Farfán, D., & Velásquez, S. (2018). Calidad organoléptica, métodos de beneficio y cultivares de café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) en la amazonía del Ecuador. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2), 239–253. https://www.researchgate.net/profile/Sofia_Velasquez3/publication/329811171_Rev_Tec_Postcosecha_-_Vol_19_No_2/links/5c1bc2af299bf12be38ed9d1/Rev-Tec-Postcosecha-Vol-19-No-2.pdf
- Engormix. (2006). Por qué el fósforo es importante para el desarrollo de las raíces. Disponible en: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/fosforo-raices-t26645.htm>
- Gaskin, J. W., Steiner, C., Harris, K., Das, K. C., & Bibens, B. (2008). Effect of lowtemperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Transactions of the ASABE*, 51(6), 2061-2069. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Christoph_Steiner3/publication/237079730_Effect_of_LowTemperature_Pyrolysis_Conditions_on_Biochar_for_Agricultural_Use/links/5485c7710cf2ef344787e13f/Effect-of-Low-Temperature-Pyrolysis-Conditionson-Biochar-for-Agricultural-Use.pdf
- Gava Ferrão, R., Damião Cruz, C., Ferreira, A., Cecon, P. R., Gava Ferrão, M. A., Almeida, Da Fonseca, A. F., Souza Carneiro, P. C. de, & Da Silva, M. F. (2008). Parâmetros genéticos em café Conilon Genetic parameters in Conilon coffee.

- Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 43(1), 61–69. Disponible en: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2008000100009&script=sci_arttext
- Glaser, B., Lehmann, J., & Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review. *Biology and fertility of soils*, 35(4), 219-230. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Bruno_Glaser2/publication/200736437_Ameliorating_Physical_and_Chemical_Properties_of_Highly_Weathered_Soils_in_the_Tropics_with_Charcoal_a_Review/links/0a85e53b9b1527d2d8000000/Ameliorating-Physical-andChemical-Properties-of-Highly-Weathered-Soils-in-the-Tropics-with-Charcoala-Review.pdf
- Gotteland, M., & De Pablo, S. (2007). Algunas verdades sobre el café. *Revista chilena de nutrición*, 34(2), 105-115. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-75182007000200002&script=sci_arttext&tlng=en
- Herzog, T. T., Silva, M. B. D., & Facco, A. G. (2020). ANÁLISE DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO DE CAFÉ CONILON. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, 13(1). Disponible en: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/6790>
- IBI (2018). International Biochar Initiative. Recuperado de: <http://www.biocharinternational.org/>
- ICAFFE. (2011). Guía técnica para el cultivo de café. Instituto del café de Costa Rica. CICAFFE. Disponible en: <http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/cicafe/documentos/GUIA-TECNICA-V10.pdf>
- INIAP. (s.f.). Café robusta. Disponible en: <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcafec/rcafer>
- Kimetu, J. M., Lehmann, J., Ngoze, S. O., Mugendi, D. N., Kinyangi, J. M., Riha, S. & Pell, A. N. (2008). Reversibility of soil productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient. *Ecosystems*, 11(5), 726. Recuperado de:

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/45730069/Reversibility_of_Soil_Productivity_Decli20160517-6968-wp0zyf.pdf?1463543565=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DReversibility_of_Soil_Productivity_Decli.pdf&Expires=1606959652&Signature=XnH~2mvAoXkLcFAOgpWXLtQs3nbSHnoDT1ME3B1Ah5nST6zx~hNZIVHEwrsPi2mjS2RO-OgEyvXx1Vztyl9MR2vw2TFcwcCJKoptBpqsZai8IShRVUnsJd~HbRHRJioJvUm6AdxY3i8ydKo9FvwS6QO0GctxlnLbWYMzvqgUqFR3pHERQjQav9HidwkTphGxpxWJe8Xm40Hk4wKcQFg6XqdL3zCAJ6V3YSmwA7Iz3uf4qWkErmFDqL3Jp0Xp6FSnH4dTRgxd6deEXL2aaR9IXql70--oiFCxKsr79njSPaNCEH4YpYwSWo~JpXEiAC5MMv20TMsZOFsgfpjBiSaw_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Monroig, M. (2007). Morfología del cafeto. Disponible en: http://academic.uprm.edu/mmonroig/HTMLobj-1858/Morfologia_cafeto2.pdf

Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R., & Karlen, D. (2010). Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158(3-4), 436-442. Recuperado de: http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1434&context=agron_pubs

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 and biochemistry*, 43(9), 1812-1836. Disponible en: <http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/pictures/publ/SoilBiolBiochem%2043,%201812%E2%80%931836,%202011%20Lehmann.pdf>

Pacotaype, Y. (2017). Caracterización agromorfológica y evaluación molecular de café (*Coffea arabica* L.), anexo Villa Libertad (1440 msnm) – Ayna – La Mar – Ayacucho. Disponible en: http://209.45.73.22/bitstream/handle/UNSCH/3084/TESIS%20AG1205_Pac.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Preston, T. (2013). El papel del biocarbono en la sostenibilidad y competitividad de sistemas agropecuarios. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 26, 304312.

Recuperado de:
<http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/rccp/article/view/324844/230782331>

Rondon, M. A., Lehmann, J., Ramírez, J., & Hurtado, M. (2007). Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biol Fertil Soils*, 43, 699-708. Recuperado de:
<http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/BiolFertSoils%2043,%20699708,%202007%20Rondon.pdf>

Schmidt, H. P., & Wilson, K. (2014). 55 uses of biochar. *The Biochar Journal*, 286-288. Disponible en: <https://www.terrapreta.bioenergylists.org/files/e082012-55-uses-of-bc.pdf>

Soares de Freitas, T. A., Guerra Barroso, D., & Carneiro, Araújo, J. G. (2008). DINÂMICA DE RAÍZES DE ESPÉCIES ARBÓREAS: VISÃO DA LITERATURA. *Ciência Florestal*, 18(1), 133–142. Disponible en: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/518/0>

Sohi, S. P., Krull, E., Lopez-Capel, E., & Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil. In *Advances in agronomy* (Vol. 105, pp. 47-82). Academic Press. Recuperado de:
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33992120/session5_4.pdf?1403222221=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DSession5_4.pdf&Expires=1606956876&Signature=Mf-zWn7YG6pnLOUMBT-AHGm~BFtfUndTU3VgVNxwmpqMzsgi9KgKtWSMfZ2PpUwTRv~H741BEoGutdi-XMmJgLzxTifdmHzmywvyaIohNFOwkbIzRxyfaZCyaOs8e9zTPj-Mcy62dxJwrno9ceCECGSqk9bySR710ZDNhNp5heTLVckz2IEMN8Q1GowNiVdsxe2a38XhupCy0QMU40ZGQmNdPF8XjmUkNo52iuouO8iMn3L586HzKR=&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

- Steiner, C; Teixeira, WG; Lehmann, J; Nehls, T; Macedo, JLV de; Blum, WEH & Zech, W. (2007). Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant Soil* 291: 275-290. Recuperado de: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/680986/1/art3A10.10072Fs1110400791939.pdf>
- Steiner, C., Glaser, B., Geraldtes Teixeira, W., Lehmann, J., Blum, W. E., & Zech, W. (2008). Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(6), 893-899. Recuperado de: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/666037/1/S8594.pdf>
- Refertil. (2014). Qué es el biochar y cómo se hace?. Disponible en: <https://www.refertil.info/sme/es/que-es-el-biochar-y-como-se-hace>
- Rivillas, C. A., Serna, C. A., & GAITAN, A. (2011). *La roya del cafeto en Colombia: Impacto manejo y costos del control*. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/594/1/036.pdf>
- Valencia, G. (1999). Fisiología nutrición y fertilización del cafeto. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/861/5/Nutrici%c3%b3n.pdf>
- Velásquez, R. A. (2016). Guía de Variedades de Café Conilon. Disponible en: <https://www.anacafe.org/uploads/file/9a4f9434577a433aad6c123d321e25f9/Guía-de-variedades-Anacafé.pdf>
- Woolf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J., & Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature communications*, 1, 56. Recuperado de: <http://www.denverclimatestudygroup.com/Biochar/BIOCHARncomms1053.pdf>
- Zambrano, F. G., Loor, R., Plaza, L., Jaimez, R., Guerrero, H., Casanova, T., López, D., & Rodriguez, G. (2018). Relación entre productividad y calidad integral del grano en selecciones avanzadas de café robusta (*Coffea canephora*) en Ecuador.

Agrociencia, 52, 593–607. Disponible en:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000400593

Zimmerman, A. R. (2010). Abiotic and microbial oxidation of laboratory-produced black carbon (biochar). *Environmental science & technology*, 44(4), 1295-1301.

Disponible en:

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/50491305/Abiotic_and_Microbial_Oxidation_of_Labor20161122-16941-12e4iyn.pdf?1479872167=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAbiotic_and_Microbial_Oxidation_of_Labor.pdf&Expires=1606956706&Signature=E5G7g6y5qkZ4CI9jeNz4ikhv1B-qKICgC03~UeMSPjBwY7ChQ6-MIXtMLtiMowTXE4pCpKhjhNilfVsyPtRLE3CVtoqocyKmeLLLSTIDaufQVg7VmvR0wb9IXDm5yOIN38xk~6LHKvvmRQX~y75azz1MtyAXitOso8jZtCz7ZjDz6ARE812iMMSp4LB~iEmKbXqTYstEGdBVIB74hUeA20osoXqDvqP1uhkGawr5txIoOssEci8eHRZKE34SK6LhAI1nJ-sOa4GFdOUWwoQTt0O4f6zsYxF38IsVhQjuBm8Xnr9ka0cW9dVzCLcWWQqGd-abryKuwPpuFq8Uqj1QGQ_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

8. ANEXOS



Foto 1. Preparación de biochar en tanques.



Foto 2. Hoyado para la siembra.



Foto 3. Siembra de plantas de café.



Foto 4. Fertilización y toma de datos.



Foto 5. Fertilización con NPK



Foto 6. Altura de plantas en variedad Sarchimor



Foto 7. Altura de plantas en variedad Conilón.



Foto 8. Altura de plantas en variedad Lojana

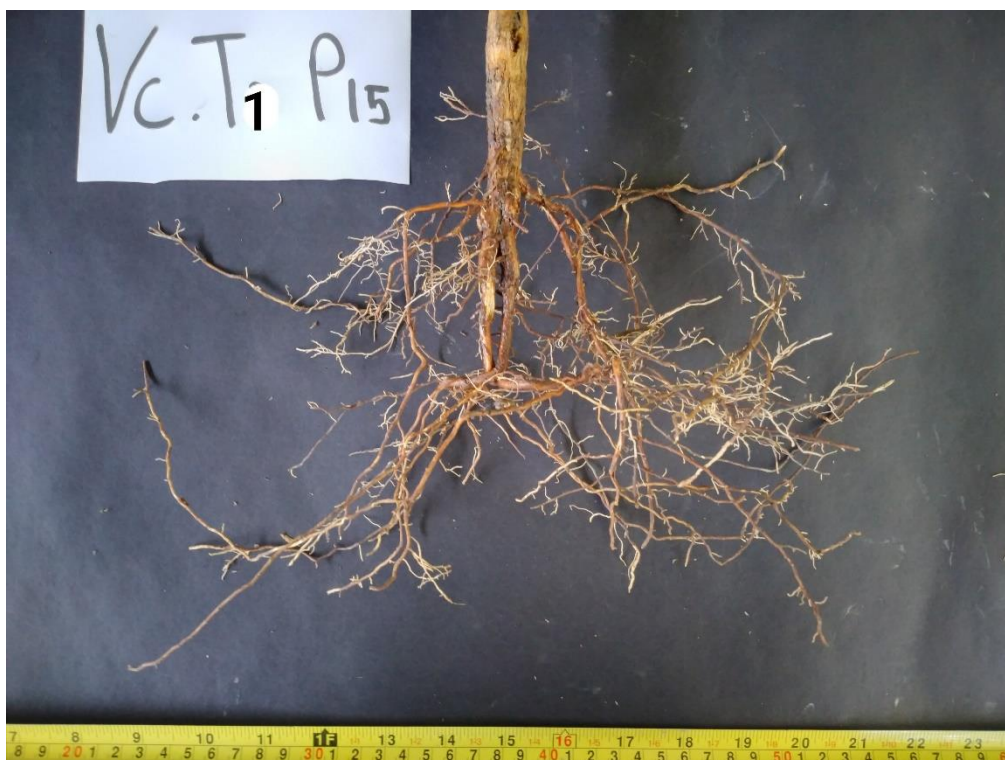


Foto 9. Largo de raíces y perímetro en variedad Conilón.

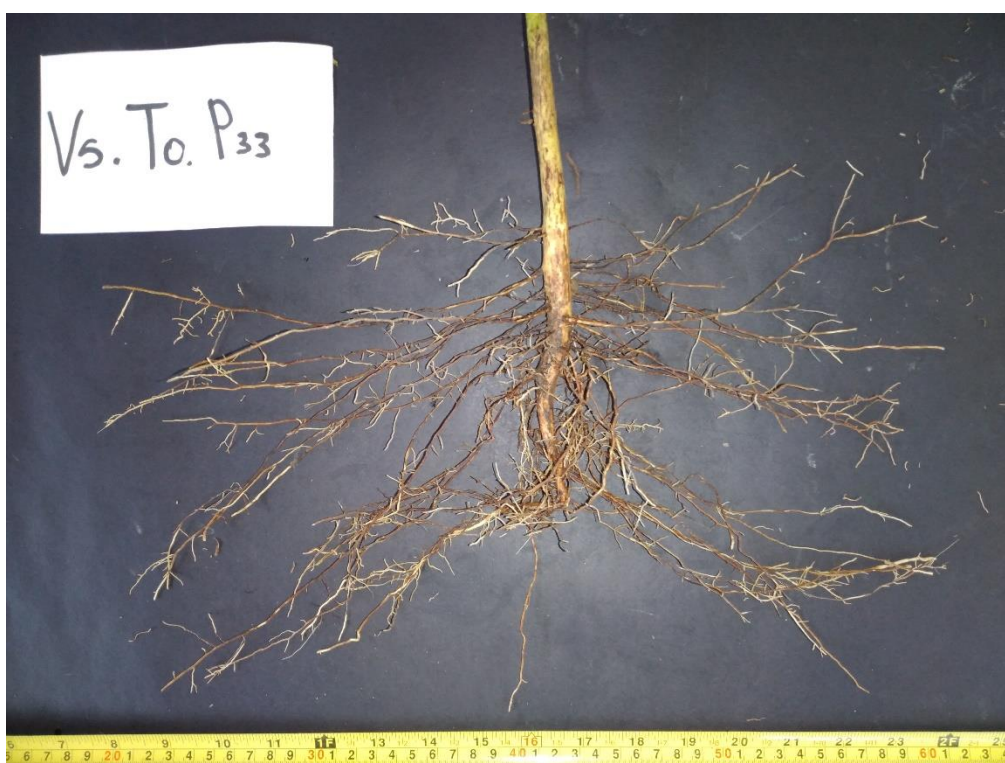


Foto 10. Largo de raíces y perímetro en variedad Sarchimor.

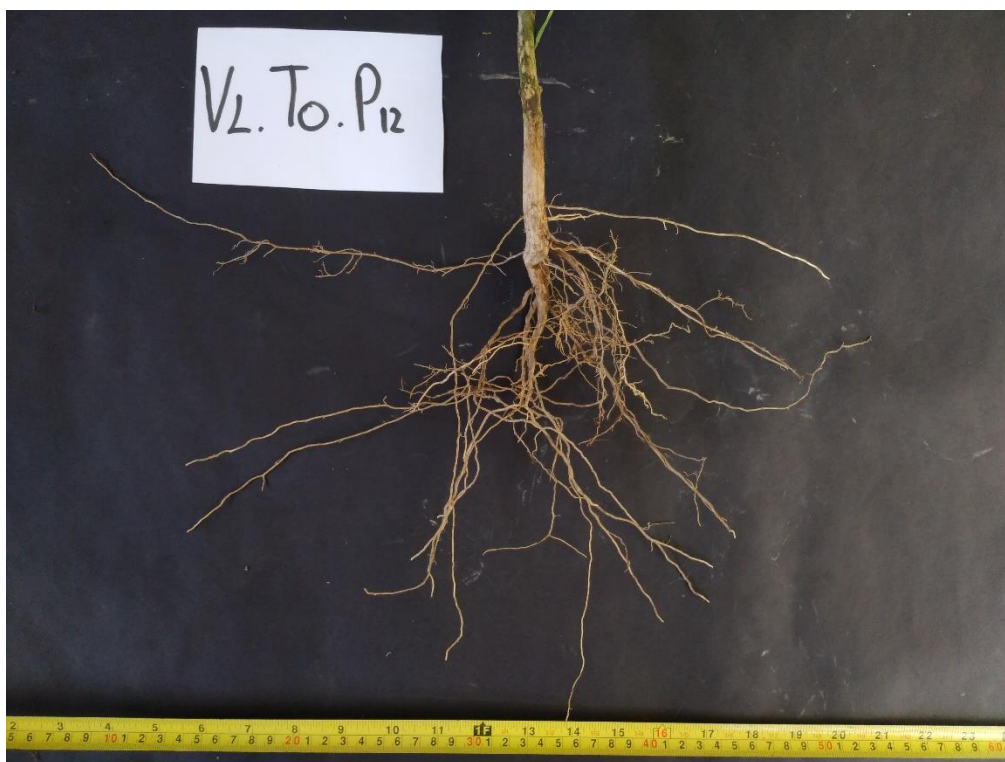


Foto 11. Largo de raíces y perímetro en variedad Lojana.