



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

CARRERA DE AGRONOMÍA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

“EFECTO DEL COMPOST DE PIÑÓN (*Jatropha curcas* L.) SOBRE LA
MORFOLOGÍA CUANTITATIVA DEL SISTEMA RADICAL DEL FREJOL CAUPÍ
(*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)”

AUTOR:

GUSTAVO ALEJANDRO CARVAJAL GUTIERREZ

TUTOR:

Ing. MARINA GARCÍA DE ALMEIDA, PhD.

SANTA ANA – MANABÍ – ECUADOR

2021

Dedicatoria.

A **Dios**, por brindarme vida y salud para seguir adelante en las metas propuestas.

A mis padres, **Silvio Carvajal Mera** y **Maritza Gutiérrez Toala** por ser el pilar fundamental de mi vida, brindándome su amor y apoyo incondicional. A mi hermano **Eduardo Carvajal Gutiérrez** por brindarme su cariño y afecto para superarme.

A mi compañera de vida **Wendi Silva** por ayudarme y apoyarme en todo lo que me proponga en mi diario vivir.

A mis **compañeros** por escuchar y apoyar las acciones tomadas durante la carrera universitaria.

Gustavo Alejandro Carvajal Gutiérrez

Agradecimiento.

A **Dios** por cuidarme y protegerme en todo momento y lugar con su bendición.

A mis **Padres Silvio Enrique Carvajal Mera y Asturia Maritza Gutiérrez Toala** por confiar y apoyar plenamente mis objetivos. A mi hermano **Eduardo Enrique Carvajal Gutiérrez** por incentivarme a que continúe con mis estudios.

A mi compañera de vida **Wendi Jazmín Silva Gutiérrez** por estar en todo momento con su apoyo incondicional.

A mi tutora de tesis, **Ing. Marina García de Almeida** por su guía, paciencia y dedicación para desarrollar el proyecto de investigación.

A mis **compañeros**, por la amistad incondicional brindada.

Gustavo Alejandro Carvajal Gutiérrez

Certificación.

Ing. Marina García de Almeida PhD., Docente de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Manabí

CERTIFICO:

Que el trabajo de titulación “**EFECTO DEL COMPOST DE PIÑÓN (*Jatropha curcas* L.) SOBRE LA MORFOLOGÍA CUANTITATIVA DEL SISTEMA RADICAL DEL FREJOL CAUPÍ (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**” es trabajo original realizado por el estudiante **GUSTAVO ALEJANDRO CARVAJAL GUTIÉRREZ**, el cual fue realizado bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones y reglamentos establecidos en su ejecución.

Ing. Marina García de Almeida PhD.

TUTORA DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Certificación.

Ing. Freddy Zambrano Gavilanes PhD., Docente de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Manabí

CERTIFICO:

Que he revisado el trabajo de titulación “**EFECTO DEL COMPOST DE PIÑÓN (*Jatropha curcas* L.) SOBRE LA MORFOLOGÍA CUANTITATIVA DEL SISTEMA RADICAL DEL FREJOL CAUPÍ (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**”, elaborado por el estudiante **GUSTAVO ALEJANDRO CARVAJAL GUTIÉRREZ**, el presente trabajo de investigación ha sido escrito de acuerdo a las normas ortográficas y sintaxis vigentes en el Reglamento de la Unidad de Titulación Especial de la Universidad Técnica de Manabí.

Ing. Freddy Zambrano Gavilanes PhD.

REVISOR DE TESIS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

CARRERA DE AGRONOMÍA

TEMA:

EFFECTO DEL COMPOST DE PIÑÓN (*Jatropha curcas* L.) SOBRE LA
MORFOLOGÍA CUANTITATIVA DEL SISTEMA RADICAL DEL FREJOL CAUPÍ
(*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)

TRABAJO DE TITULACIÓN

Sometida a consideración del Tribunal de Seguimiento y Evaluación, legalizada por el
Honorable Consejo Directivo como requisito previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA POR:

Dr. Fernando Sánchez Mora PhD.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Dr. Antonio Torres García PhD.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Juan Flor Vines Mg. Sc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Declaración.

CARVAJAL GUTIÉRREZ GUSTAVO ALEJANDRO, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría y que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración de este trabajo investigativo es de sumo derecho de propiedad intelectual del autor.



GUSTAVO ALEJANDRO CARVAJAL GUTIÉRREZ

AUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Índice.

Dedicatoria.....	I
Agradecimiento.....	II
Resumen.....	XII
Abstract.....	XIII
1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	3
2.1. Objetivo General.	3
2.2. Objetivos Específicos.....	3
3. Marco teórico.....	4
3.1. Características del frejol caupí (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.).	4
3.2. Respuesta de los cultivos a la fertilización con materia orgánica.	4
3.3. Importancia de torta y cáscara de piñón como abono orgánico.	5
3.4. Efecto de la fertilización orgánica sobre el crecimiento del sistema radical.	6
4. Metodología.....	8
4.1. Diseño de la investigación.	8
4.1.1. Ubicación del ensayo.	8
4.1.2. Material vegetal.	8
4.1.3. Preparación de los maceteros para siembra del fréjol caupí.	8
4.1.4. Tratamientos y diseño experimental.	9
4.2. Definición de variables.	10
4.2.1. Volumen radical.....	10
4.2.2. Longitud total.....	10
4.2.3. Diámetro promedio de las raíces	11
4.2.4. Número total de nódulos.....	11
4.3. Selección de muestra y recolección de datos.	11

4.3.1.	Siembra.	11
4.3.2.	Fertilización.	12
4.3.3.	Control de plagas y enfermedades.	12
4.3.4.	Riego.	12
4.3.5.	Muestreo.	12
4.4.	Análisis de datos.	13
5.	Resultados y discusión.	14
6.	Conclusiones.....	22
7.	Recomendaciones.	23
8.	Referencias bibliográficas.	24
9.	Anexos.	30

Índice de Tablas

Tabla 1. Propiedades físico-químicas de los dos tipos de suelo.	8
Tabla 2. Dosis de los diferentes compost elaborados a partir de cáscara y torta de piñón aplicados a los maceteros.	9
Tabla 3. Factores de estudio y tratamientos.....	10
Tabla 4. Valores de probabilidad (P) y error standard obtenidos en el ANDEVA y coeficiente de variación para las variables radicales determinadas en plantas de frejol caupí cultivadas en condiciones de umbráculo con dos tipos de suelo y cuatro tipos de compost en tres dosis.	15
Tabla 5. Valores promedio de volumen, longitud total, diámetro y número de nódulos del sistema radical en plantas de frejol caupí cultivadas en condiciones de umbráculo, con dos tipos de suelo y cuatro tipos de compost de piñón en tres dosis distintas..	17
Tabla 6. Valores promedio de longitud total y diámetro promedio del sistema radical en plantas de frejol caupí, cultivadas en condiciones de umbráculo con dos tipos de suelo y cuatro tipos de compost en tres dosis distintas considerando la interacción Suelo x Tipo de Compost.	19
Tabla 7. Valores promedio de volumen del sistema radical en plantas de frejol caupí, cultivadas en condiciones de umbráculo con dos tipos de suelo y cuatro tipos de compost en tres dosis distintas considerando la interacción Suelo x Tipo de Compost x Dosis.	20

Índice de Figuras

Figura 1. Recipiente y cuadrícula utilizada para cuantificar las intersecciones de raíces.	11
Figura 2. Ilustración del método de Bohm para extraer las raíces.....	12

Índice de Anexos

Anexo 1. Mezcla de los 10 kilogramos de suelo con sus respectivas combinaciones....	30
Anexo 2. Frejol caupí en la fase juvenil.	30
Anexo 3. Limpieza de las raíces con agua.	31
Anexo 4. Desarrollo de las raíces entre el suelo arenoso y arcilloso.	31
Anexo 5. Conservación de las raíces.	32
Anexo 6. Medición del volumen de las raíces.	32
Anexo 7. Preparación de la solución acuosa de safranina a 0.5%.	33
Anexo 8. Explicación de la tutora para medir las intersecciones de las raíces.....	33
Anexo 9. Medición de las intersecciones de las raíces.	34

Resumen.

El compost de piñón es generado a partir de la torta que es producida por la extracción del aceite de las semillas de piñón (*Jatropha curcas* L.) donde esta materia orgánica es aprovechada para la elaboración de este compost rico en macro y micronutrientes. La presente investigación tuvo como objetivo fundamental evaluar el efecto del compost de torta y cáscara de piñón sobre la morfología cuantitativa del sistema radical del frejol caupí. Se realizó un ensayo en condiciones de umbráculo con la variedad INIAP – 463, utilizando 2 tipos de suelos, 4 tipos de compost y 3 dosis de distintas combinaciones más 2 testigos para un total de 26 tratamientos en un diseño completamente aleatorizado. Fueron determinados a los 30 días después de la siembra las siguientes variables: volumen radical, longitud total, diámetro promedio de las raíces y número total de nódulos. Los resultados obtenidos demuestran que, de los tres factores probados, el tipo de compost fue el que tuvo mayor influencia sobre las variables morfológicas longitud, diámetro promedio y volumen de raíces, mientras que el número de nódulos no respondió a ninguno de los factores probados. Las raíces que crecieron en suelo arcilloso, con mayor proporción de torta de piñón fueron las que tuvieron la mayor longitud total y el menor diámetro promedio.

Palabras clave: Fertilización orgánica, variables morfológicas, raíz, caupí.

Abstract.

The Physic nut compost is generated from the cake that is produced by the extraction of the oil from the pine nut seeds (*Jatropha curcas* L.) where this organic matter is used for the elaboration of this compost rich in macro and micronutrients. The main objective of the present investigation was to evaluate the effect of the cake compost and pine nut shell on the quantitative morphology of the cowpea root system. A trial was carried out under shade conditions with the INIAP - 463 variety, using 2 types of soils, 4 types of compost and 3 doses of different combinations plus 2 controls for a total of 26 treatments in a completely randomized design. The following variables were determined 30 days after sowing: root volume, total length, average diameter of the roots and total number of nodules. The results obtained show that, of the three factors tested, the type of compost was the one that had the greatest influence on the morphological variables length, average diameter and root volume, while the number of nodules did not respond to any of the factors tested. The roots that grew in clay soil, with the highest proportion of pinion cake, were those with the longest total length and the smallest average diameter.

Key words: Organic fertilization, morphological variables, root, cowpea.

1. Introducción.

El frejol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp.) es una de las leguminosas de mayor importancia que se producen en regiones tropicales y subtropicales del mundo, principalmente en países de África, América Latina y Asia (Pérez *et al.* 2018). Las leguminosas de grano son una fuente importante de nutrientes esenciales en varios países en desarrollo debido a razones nutricionales y socioeconómicas (Pérez *et al.* 2018). *V. unguiculata*, es fuente importante de proteínas, su contenido en la semilla llega a ser dos a tres veces mayor que en cualquier otro grano (Ayón *et al.* 2017), además esta especie posee una cantidad importante de calorías, fibra dietética, minerales y vitaminas lo cual es de sumo interés para un segmento importante de la población mundial (Pérez *et al.* 2018). En Ecuador el frejol es una leguminosa que se cultiva principalmente en la región Sierra en asociación con otros cultivos y es cosechado en vaina verde o seco (Peralta, *et al.* 2013). En la región Costa quienes producen este cultivo son los pequeños productores mayormente en época de verano en las provincias Los Ríos, El Oro, Guayas y Manabí (Garcés *et al.* 2015).

El nitrógeno es uno de los nutrientes más importantes y de mayor requerimiento por parte de los cultivos y como es sabido, las leguminosas crecen muy bien en suelos con bajo contenido de este nutriente, lo cual es atribuido a su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico mediante la simbiosis con bacterias, principalmente del género *Rhizobium* (Paredes, 2013).

Por otro lado, el piñón *Jatropha curcas* L., es un arbusto o árbol pequeño que pertenece a la familia Euphorbiaceae, es considerado una oleaginosa originaria de América, pero, ampliamente cultivada en países de Asia y África (Pabón y Hernández, 2012). Se localiza en climas tropicales y subtropicales del mundo y se desarrolla en altitudes que van de 5 a 1500 msnm (Ávila *et al.* 2018). La especie se caracteriza por alcanzar una buena producción en suelos degradados con baja fertilidad, marginales secos, es decir, lugares donde es difícil que otros cultivos logren adaptarse (Mendoza *et al.* 2016).

Por otra parte, existen evidencias experimentales de que la aplicación de compost de piñón (*J. curcas*) mejora notablemente la fertilidad del suelo aportando cantidades importantes de nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes (Elbl *et al.* 2016; Rucoba *et*

al. 2012), razón por la cual su uso como abono orgánico se viene considerando con bastante énfasis dentro del esquema de la agricultura orgánica (Massoud *et al.* 2017).

En Ecuador desde el año 2011 el gobierno ha promovido una iniciativa para usar aceite de piñón puro, proveniente de semillas de *J. curcas*, para generar electricidad y abastecer a las Islas Galápagos (Cañadas *et al.* 2017). Las principales colecciones de *J. curcas*, se ubican en las zonas costeras de Guayas y Manabí, mayormente en ecosistemas de clima seco y suelos arenosos (Ayón *et al.* 2017). *J. curcas*, es una especie que ofrece gran potencial en la producción de biocombustibles tanto en zonas tropicales como subtropicales (Mendoza *et al.* 2016). Esta especie posee la capacidad de producir semillas con alto contenido de aceite, lo que le permite tener potencial para utilizarse en la producción de biodiesel sustituyendo a los combustibles fósiles (Díaz *et al.* 2013). Pabón y Hernández (2012), expresan que contiene entre 30 y 32 % de proteína y de 60 a 66% de lípidos, lo cual indica su potencial como fuente de energía renovable.

La torta producida por la extracción de semillas es valiosa como abono orgánico debido a su alto contenido de nitrógeno y se puede usar para mantener la fertilidad del suelo (Chaturvedi y Kumar, 2012). Además del nitrógeno, presenta fósforo y potasio lo que permite hacer uso de la misma como abono; sin embargo, este contenido varía dependiendo de la fuente (Massoud *et al.* 2017).

Actualmente existe una comprensión suficiente de los beneficios que aporta el uso de materia orgánica en los cultivos, esta es capaz de descomponerse e integrarse al suelo para mejorar sus características químicas, físicas y microbiológicas, además la aplicación continua de materia orgánica, mejora la estructura del suelo, aireación, porosidad, formación, estabilidad de agregados, infiltración y retención de la humedad, entre otros, favoreciendo directamente el desarrollo y el rendimiento de los cultivos (Morales, 2007). Torres *et al.* (2013) aseguran que existe una relación entre la estructura del suelo y el crecimiento de las plantas, en particular de sus raíces.

En la presente investigación se planteó la siguiente hipótesis: la aplicación de compost de piñón (*J. curcas*) incide favorablemente sobre el desarrollo del sistema radical del frejol caupí (*V. unguiculata*).

2. Objetivos.

2.1.Objetivo General.

Evaluar efecto del compost de torta y cáscara de piñón (*Jatropha curcas* L.) sobre la morfología cuantitativa del sistema radical del frejol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.).

2.2.Objetivos Específicos.

1. Estudiar el efecto de la aplicación de torta y cáscara de piñón, sobre las variables morfológicas cuantitativas del sistema radical.
2. Determinar el efecto de la aplicación de torta y cáscara de piñón, sobre el número total de nódulos en las raíces.

3. Marco teórico.

3.1. Características del frejol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.).

V. unguiculata es comúnmente conocida como cowpea o chícharo de vaca, frijol carita y caupí. Forma parte de la familia botánica Fabaceae, presenta amplia diversidad de tipos y cultivares. Es una planta de fácil cultivo, adaptada al ecosistema tropical, de alto valor nutricional (Flores y Montoya, 2018). Presenta amplia adaptación a suelos arenosos y arcillosos, con preferencia a suelos ligeros que permiten buen enraizamiento (Obando, 2012).

El frejol caupí es una planta con un sistema radicular bien desarrollado, compuesto de una raíz principal y raíces laterales. La raíz principal es profunda y pivotante (hasta 1,95 m), tiene abundantes ramificaciones laterales, pudiendo alcanzar estas últimas hasta 1.4 m de longitud, por lo que las plantas pueden absorber mayor cantidad de agua y nutrientes en comparación a los frijoles comunes. En sus raíces crecen los nódulos, que son protuberancias donde viven las bacterias del género *Rhizobium* que son las encargadas de fijar el nitrógeno del aire y que la planta utiliza para su nutrición (Albán, 2012).

Los tallos se caracterizan por ser delgados y débiles, angulosos, y de alturas muy variables. El porte de la planta está determinado por la forma de los tallos; si el tallo principal presenta una inflorescencia terminal, la planta tendrá un crecimiento determinado (variedades enanas o erectas) y si el tallo no produce esta inflorescencia terminal y las inflorescencias aparecen en las axilas, la planta tendrá un crecimiento indeterminado (variedades guiadoras o trepadoras) (Albán, 2012).

3.2. Respuesta de los cultivos a la fertilización con materia orgánica.

Santos y Velasco (2016) indican que la aplicación de materia orgánica produce cambios físicos, químicos y biológicos que se manifiestan en un mejor desarrollo y rendimiento de la planta. El suelo se compone de 45% mineral, 5% orgánico, 25% líquido y 25% gaseoso; dichos porcentajes indican una composición hipotética para un buen crecimiento de las plantas, un suelo sin materia orgánica carece de buena estructuración, presencia de cargas negativas dependientes de pH y actividad microbiana, que juntos le imparten al suelo la dinámica de un proceso físico, químico y biológico.

La raíz es uno de los órganos más importantes de la planta; su crecimiento y ramificación son cruciales para la absorción de agua y nutrimentos. Una rápida

elongación de la raíz es importante para el establecimiento de la planta y su desarrollo está estrechamente relacionado con el vástago (Ontiveros *et al.* 2005).

En el cultivo de amaranto se demostró que dosis de bovino aportan al suelo N, P, K logrando precocidad de floración, mayor altura de planta, mejor diámetro de tallo, alto rendimiento de grano por parcela ratificando de esta manera que el uso de abonos orgánicos influye en el comportamiento agronómico de este cultivo (Zúñiga, 2017).

Actualmente se reconoce la importancia y la necesidad de la agricultura orgánica en hortalizas de hojas, en la cual se evidenció un buen rendimiento en proteína, altura, forraje verde y materia seca sobre la producción de alfalfa orgánica bajo el efecto del compost de guano de pollos (Castro *et al.* 2019).

Gómez y Gutierrez (2015) añaden que el caupí (*V. unguiculata*) al utilizarse como abono verde para el cultivo de caña de azúcar, ayuda a sustituir los insumos químicos y además se convierte en una alternativa amigable al ambiente.

3.3.Importancia de torta y cáscara de piñón como abono orgánico.

Pabón y Hernández (2012) señalaron que *J. curcas* es un árbol que brinda múltiples propósitos; importante fuente alternativa para la obtención de biodiesel, alimentación humana y animal, producción de fertilizantes y en medicina tradicional, generando impacto de beneficios económicos, sociales y ambientales. De entre los beneficios económicos, está la disposición como cultivo energético para elaboración de combustibles renovables (cáscara, leña y el aceite vegetal para producir biodiesel). A su vez las materias primas y productos (residuos) de procesos industriales (aceite, glicerol, torta, cascara. etc.), pueden tener otros empleos económicos insecticidas, abonos, alimento animal, y otros (Landeros, 2013).

Fernández *et al.* (2015), aseguran que la cáscara de *J. curcas*, es usada para biogás a causa del alto valor calorífico y/o en su defecto para fertilizante orgánico por contener N, P, K. Toral *et al.* (2008), manifestaron que, en el caso de la torta de semillas, este es el nombre de la masa residual y es la parte de la semilla y la cáscara que resta después del prensado de aceite (Kingswood, 2010; Rodríguez *et al.* 2016).

Rodríguez *et al.* (2016) manifiestan que la torta se caracteriza por tener un 57% de proteína bruta, carbohidratos, lípidos, un alto contenido de N, P y K. Adicionalmente, esta contiene alto contenido de curcasina y ácido jatrófico responsables de la toxicidad de la semilla. Es importante recalcar que la torta no se puede ofrecer directamente como

alimento a los animales, sin embargo, si pasa por un proceso de detoxificación puede usarse sin problema alguno para alimentar vacunos, cerdos y aves (Toral *et al.* 2008).

La torta de semillas también contiene hasta un 58% de proteína bruta en peso y los porcentajes de contenido de N, P y K 2,63%, 0,23% y 3,1%, respectivamente. La presencia de estos elementos se reconoce como fuentes de nutrientes que son incluso más altas que las del estiércol de gallina o vaca, además, contiene también elementos secundarios necesarios para el crecimiento de las plantas, tales como trazas de calcio, magnesio, azufre, zinc, hierro, cobre, manganeso y sodio (Massoud *et al.* 2017). La cáscara es la fina capa oscura que envuelve la semilla de piñón y se obtiene tras la separación de la semilla del fruto y el pelado de la misma (Rodríguez *et al.* 2016). Mediante un proceso de digestión anaeróbica puede transformarse en biogás y biofertilizante, también puede pasarse en un molinillo de bola y transformarse en biofertilizante después de convertirla en compost, optimizando rendimientos energéticos. La producción de cáscara del fruto es de 1000 Kg ha⁻¹ (30% del peso del fruto) (Rodríguez *et al.* 2016).

Rodríguez *et al.* (2016) señalan que el compost se puede usar en todos los cultivos y en cualquier etapa, debido a que presenta liberación nutriente paulatina por la transformación del compost en el suelo adaptándose a las necesidades de la planta.

Muy recientemente, Vera y Pisco (2020) añaden que el compost de torta de piñón contiene mayor concentración de macro y micronutrientes, al igual que se evidenciaron mejores efectos para las variables contenido nutricional, clorofila, y producción con la utilización del suelo arcilloso más la aplicación de torta en dosis medias y altas.

3.4.Efecto de la fertilización orgánica sobre el crecimiento del sistema radical.

La adición de materia orgánica puede favorecer el desarrollo radical tanto en forma directa como indirecta. La aplicación de enmiendas orgánicas estimula la producción de raíces finas, lo que favorece la absorción de nutrimentos. Indirectamente, los abonos orgánicos pueden mejorar las propiedades físicas del suelo, como la estructura y la densidad aparente, mediante un efecto floculante propio de la materia orgánica, esto mejora el movimiento del aire, el agua, y los nutrimentos; lo que permite incrementar el crecimiento y la penetración radical. Las enmiendas orgánicas también pueden aumentar la capacidad de intercambio catiónico de los suelos y favorecer la proliferación de microorganismos benéficos (Chaimsohn *et al.* 2007).

Además, De Oliveira *et al.* (2018) señalan que entre mayor sea el crecimiento de las raíces, estas ayudan a restablecer la funcionalidad del suelo. En investigaciones realizadas por Montejó *et al.* (2018) la fertilización biológica-química en cultivo de maíz *Zea mays* L., dio como resultados un incremento en el número de raíces.

Cardona *et al.* (2014) asegura que en el caupí la absorción de agua puede ser mejorada mediante un sistema radicular más extenso y profundo que permita mejorar la absorción de agua y nutrientes desde la masa del suelo. En esta fabácea, la densidad de raíces largas, la profundidad de enraizamiento y materia seca de raíces por unidad de área, son parámetros que caracterizan el sistema radical del frejol.

Ortiz (2010) asegura que la fertilización orgánica favorece el desarrollo radical en forma directa, estimulando la producción de raíces y la absorción de nutrientes minerales en la planta de frejol (*P. vulgaris* L. var. Cerniza).

En relación al efecto de la fertilización orgánica sobre el desarrollo de nódulos en frejol caupí, se ha señalado que la misma promueve la formación de mayor número de nódulos y es muy significativa ya que se obtienen mayor número de nódulos y mejora el rendimiento de producción (Madukwe *et al.* 2008).

En cuanto al uso de torta y cáscara de piñón sobre la morfología cuantitativa del sistema radical del frejol caupí no existe información en la literatura disponible, por lo que resulta de gran utilidad generarla mediante la ejecución del presente trabajo de investigación.

4. Metodología.

4.1. Diseño de la investigación.

4.1.1. Ubicación del ensayo.

El experimento se lo realizó durante los meses de octubre del 2019 a diciembre del 2019, bajo condiciones de umbráculo (para la protección de los rayos solares, lluvia y aire) en la Estación Experimental “La Teodomira”, perteneciente a la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Manabí, ubicada en la parroquia Lodana, cantón Santa Ana, provincia de Manabí, Ecuador. Geográficamente localizada a 01°09' de latitud sur y 80°21' de longitud oeste y una altitud de 60 msnm, con características climatológicas tales como: pluviosidad anual: 682,50 mm, heliofanía anual: 1.354 horas luz, temperatura promedio: 25,39°C, evaporación anual: 1.625,40 mm y nubosidad: 6/8.

4.1.2. Material vegetal.

El material vegetal utilizado fue el fréjol caupí de la variedad INIAP - 463, esta variedad se origina de la selección genealógica de la línea C16- 006-2 conseguida del cruzamiento de la variedad “Criollo” SCN 114 con el cultivar INIAP 461(Mendoza y Linzán, 2005).

Previo a la siembra las semillas fueron tratadas con insecticida a base de imidacloprid cuya concentración fue de (105g/l) y thiodicard (300 g/l) (SEMEPRID de la empresa INTEROC), el mismo que previene el ataque de plagas cortadoras y chupadoras que pueden afectar el desarrollo inicial de las plántulas.

4.1.3. Preparación de los maceteros para siembra del fréjol caupí.

Para la presente investigación se utilizaron dos tipos de suelo, 1) Franco-Arcilloso perteneciente a la Estación Experimental La Teodomira de la Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Manabí, en el cantón Santa Ana y 2) Franco-arenoso perteneciente al sitio El Cerrito del cantón Rocafuerte. Las propiedades físico-químicas de ambos tipos de suelo fueron determinadas en el Laboratorio de la Estación Experimental Pichilingue del INIAP y se muestran en el Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades físico-químicas de los dos tipos de suelo.

Suelo	pH	%	NH ₄	P	K	Textura (%)			Clase Textural
		M.O.	ppm		meq/100ml	Arena	Limo	Arcilla	
1	6,3	1,5	0,99	7	1,53	21	48	31	Franco-arcilloso
2	7,3	1,7	0,59	5	1,24	85	9	7	Franco-arenoso

Para las diferentes unidades experimentales se prepararon un total de 104 maceteros con capacidad de 10 kg cada uno, los cuales se llenaron con cada tipo de suelo, para un total de 52 maceteros por tipo de suelo.

Posteriormente se realizó el cálculo para la obtención de las dosis a utilizar de los tipos de compost elaborados anteriormente en cada tratamiento, teniendo en cuenta que se aplicaron en tres dosis según el contenido de nitrógeno de cada sustrato: dosis alta (100 Kg N.ha⁻¹), media (50 Kg N.ha⁻¹), y baja (25 Kg N.ha⁻¹), estando distribuidos de la forma en que se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Dosis de los diferentes compost elaborados a partir de cáscara y torta de piñón aplicados a los maceteros.

Tipos de compost	Dosis (g/macetero)		
	Alta (100 Kg N.ha ⁻¹)	Media (50 Kg N.ha ⁻¹)	Baja (25 Kg N.ha ⁻¹)
Cáscara 75%+25%Torta	24,19	12,10	6,05
Cáscara 50%+50%Torta	18,29	9,15	4,57
Cáscara 25%+75% Torta	13,51	6,76	3,38
Torta 100%	10,95	5,47	2,74

Esas combinaciones se mezclaron con 10 Kg de suelo en cada macetero, de esa manera de obtuvieron las mezclas a utilizar en los distintos tratamientos con sus respectivas repeticiones.

4.1.4. Tratamientos y diseño experimental.

Para la presente investigación se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), dispuesto en un arreglo factorial de 2x4x3+2, siendo estudiados dos tipos de suelo (arcilloso y arenoso), cuatro tipos de compost (Cáscara 75%+25%Torta, Cáscara

50%+50%Torta, Cáscara 25%+75% Torta y Torta 100%), en tres tipos de dosis (alta, media y baja) más dos tratamientos testigo (con fertilización química y sin fertilización), equivalente a 26 tratamientos (Tabla 2) en cuatro repeticiones, totalizando 104 unidades experimentales, cada unidad experimental representada por una planta de frejol caupí, tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Factores de estudio y tratamientos

Factores (AxBxC)		
Tipos de Suelo (A)	Compost (B)	Dosis (C)
Arcilloso (A1)	Cáscara 75%+25%Torta (B1)	Alta (C1)
Arenoso (A2)	Cáscara 50%+50%Torta (B2)	Media (C2)
	Cáscara 25%+75% Torta (B3)	Baja(C3)
	Torta 100% (B4)	
Tratamientos		
1 A1xB1xC1	11 A1xB4xC2	21 A2xB3xC3
2 A1xB1xC2	12 A1xB4xC3	22 A2xB4xC1
3 A1xB1xC3	13 A2xB1xC1	23 A2xB4xC2
4 A1xB2xC1	14 A2xB1xC2	24 A2xB4xC3
5 A1xB2xC2	15 A2xB1xC3	25 Control 1 sin fertilizante suelo arcilloso
6 A1xB2xC3	16 A2xB2xC1	26 Control 2 sin fertilizante suelo arenoso
7 A1xB3xC1	17 A2xB2xC2	27 Control 3 fertilización química suelo arcilloso
8 A1xB3xC2	18 A2xB2xC3	28 Control 4 fertilización química suelo arenoso
9 A1xB3xC3	19 A2xB3xC1	
10 A1xB4xC1	20 2xB3xC2	

4.2. Definición de variables.

- 4.2.1. Volumen radical: El volumen de raíces se midió por el método de desplazamiento de volúmenes descrito por Bohm (1979) para lo cual se utilizó una probeta graduada donde se colocó el sistema radical y se midió el volumen de agua desplazado por las raíces.
- 4.2.2. Longitud total: Se estimó la longitud radical total de cada muestra de raíces, siguiendo la metodología propuesta por Tennant (1975), la cual consiste en contar las intersecciones entre las raíces y un patrón de líneas que es tomado

como referencia. La longitud total del sistema radical se determinó mediante la siguiente relación:

$$L = \frac{11}{14} \times N^{\circ} \text{total de intersecciones} \times \text{unidad lineal de cuadrícula}$$

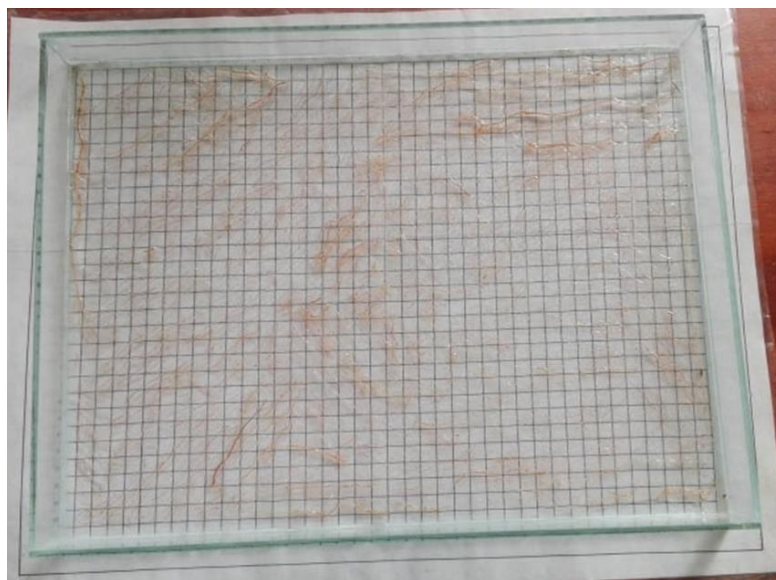


Figura 1. Recipiente y cuadrícula utilizada para cuantificar las intersecciones de raíces.

4.2.3. Diámetro promedio de las raíces: Con los datos de volumen y longitud total de las raíces, se determinó el diámetro promedio de cada muestra asumiendo a la raíz como un cilindro (Bohm, 1979), mediante la siguiente relación:

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi L}}$$

Donde:

D= diámetro promedio

V= volumen del sistema radical

L= longitud total del sistema radical

4.2.4. Número total de nódulos: se contó con la ayuda de un contador manual el número total de nódulos presentes en cada muestra.

4.3. Selección de muestra y recolección de datos.

4.3.1. Siembra.

Se sembraron cinco semillas por maceta, una vez emergidas fue efectuado el raleo respectivo, dejando una planta por maceta.

4.3.2. Fertilización.

Las diferentes mezclas de compost de cada tratamiento (Tabla 2) se aplicaron al suelo correspondiente con ayuda de una funda plástica en cada tratamiento para conseguir homogenizarlos. Para el tratamiento testigo con fertilización química fue aplicada la dosis equivalente a 40-60-30 Kg ha⁻¹ de NPK, usando urea, superfosfato simple y muriato de potasio como fuente de N, P y K, respectivamente, en cada macetero y según el tipo de suelo.

4.3.3. Control de plagas y enfermedades.

Fueron aplicados insecticidas y fungicidas, para evitar daños causados por insectos y patógenos.

4.3.4. Riego.

El riego fue de forma manual aplicando agua con la ayuda de recipientes y los intervalos del mismo fueron aplicados de acuerdo a los requerimientos hídricos del cultivo según la capacidad de campo de cada tratamiento.

4.3.5. Muestreo.

El muestreo se realizó al final de la fase juvenil y la limpieza de las raíces se realizó por el método de flotación propuesto por Bohm (1979), que consiste en lavar las raíces en agua y con la ayuda de un tamiz decantarlas por medio de la flotación. Este procedimiento se repitió hasta obtener todas las raíces de cada recipiente.



Figura 2. Ilustración del método de Bohm para extraer las raíces.

Las muestras se preservaron en etanol al 30%, a una temperatura aproximada de 10°C (Bohm, 1979), hasta el momento de realizar las medidas respectivas. Antes de iniciar la cuantificación de los parámetros radicales, las muestras se rehidrataron por 30 minutos y luego se tiñeron con una solución acuosa de safranina al 0,5%.

4.4. Análisis de datos.

Para todas las variables determinadas los datos se organizaron en bases de datos y se realizó un análisis de varianza (ADEVA). En el caso de aquellas variables que resultaron con diferencias significativa se realizó una prueba de medias de Tukey ($p < 0,05$). El análisis estadístico de los datos se realizó con la ayuda del programa INFOSTAT (Di Rienzo *et al.* 2018).

5. Resultados y discusión.

Como muestra la Tabla 4, se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en el caso de tipo de suelo (S) solo para volumen de raíces, en cuanto a tipo de compost (TC) en todas las variables exceptuando número de nódulos, mientras que para dosis (D) ninguna de las variables determinadas resultó con diferencia significativa. En cuanto a la interacción de dos factores, solo SxTC arrojó diferencia significativa, específicamente para longitud y diámetro promedio de raíces. En lo que respecta a la interacción triple (SxTCxD), únicamente se detectó diferencia significativa para volumen de raíces. En cuanto a los testigos con fertilización química y sin fertilización no se encontraron diferencias significativas para ninguno de ellos con respecto a la aplicación de las combinaciones suelo, tipo de compost y dosis.

Tabla 4. Valores de probabilidad (P) y error standard obtenidos en el ADEVA y coeficiente de variación para las variables radicales determinadas en plantas de frejol caupí cultivadas en condiciones de umbráculo con dos tipos de suelo y cuatro tipos de compost en tres dosis.

VARIABLES	S	TC	D	SxTC	SxD	TCxD	SxTCxD	T1 vs Resto	T2 vs Resto	CV
Volumen Radical	0,00	0,00	0,49	0,47	0,69	0,09	0,01	0,35	0,70	23,42
Longitud Total	0,05	<0,0001	0,45	<0,0001	0,74	0,56	0,08	0,18	0,53	28,46
Diámetro Promedio	0,14	<0,0001	0,84	<0,0001	0,15	0,46	0,38	0,10	0,06	6,04
Número Nódulos	0,43	0,90	0,90	0,27	0,85	0,73	0,14	0,33	0,12	28,55

S: Tipo de suelo; TC: tipo de compost; D: dosis; SxTC: interacción suelo por tipo de compost; SxD: interacción suelo por dosis; TCxD: interacción de tipo de compost por dosis; SxTCxD: interacción suelo por tipo de compost por dosis; T1: Testigo 1; T2: Testigo 2; E: Error; CV: Coeficiente de variación.

En la Tabla 5 se muestran los resultados de la prueba de medias para las variables estudiadas, considerando los factores simples. En cuanto al tipo de suelo, el volumen de raíces fue mayor en el suelo arenoso mientras que en las demás variables las medias fueron similares. En relación al tipo de compost, para el caso de volumen y longitud total de raíces, los mayores promedios correspondieron a los tratamientos con 25% de cáscara + 75% torta y 100% de torta de piñón, sin diferencia entre ellos; para la primera variable esa media no se diferenció respecto a la del tratamiento en el que se usó la misma proporción de cáscara y torta y la menor media se obtuvo en el tratamiento con 75% de cáscara más 25% de torta, mientras que en el caso de la segunda variable, esos dos últimos tratamientos mostraron la menor media, sin diferencia entre ellas. En cuanto al diámetro promedio de raíces, la mayor media se obtuvo para el tratamiento con 75% de cáscara + 25% torta y en los restantes tratamientos las medias fueron menores y similares entre ellas; en relación al número de nódulos, las medias fueron similares para los cuatro tipos de compost probados. En cuanto a la dosis de compost, las medias fueron similares para todas las variables estudiadas.

Al analizar el comportamiento de las variables determinadas en este estudio, considerando los factores simples, se evidencia que el tipo de compost fue el factor que más influenció la respuesta de las mismas, exceptuando el número de nódulos. Asimismo, es notorio que a medida que el compost incluyó 75% y 100% de torta, el sistema radical fue de mayor volumen y longitud y las raíces tuvieron un menor diámetro; esa combinación de características morfológicas radicales es muy favorable, ya que se sabe que a medida que la planta posee un sistema radical de mayor longitud y raíces de menor diámetro, la eficiencia de este órgano para absorber agua y nutrientes del suelo se incrementa notablemente (Bohm, 1979). Cabe señalar que Zambrano *et al.* (2020) han indicado que la torta de piñón posee un mayor contenido de K, N y P, en comparación con la cáscara; es posible que ese factor tenga un impacto positivo en promover el desarrollo de raíces con mayor longitud y volumen.

Tabla 5. Valores promedio de volumen, longitud total, diámetro y número de nódulos del sistema radical en plantas de frejol caupí cultivadas en condiciones de umbráculo, con dos tipos de suelo y cuatro tipos de compost de piñón en tres dosis distintas.

FACTOR	VARIABLES			
	Volumen radical (cm ³)	Longitud total (m)	Diámetro Promedio (mm)	Número de Nódulos (N°)
Suelo				
Arenoso	41,26 a	127,17 a	0,62 a	194,97 a
Arcilloso	34,38 b	145,27 a	0,61 a	209,72 a
Tipo de Compost				
I	30,42 b	94,06 b	0,68 a	190,89 a
II	37,25 ab	122,88 b	0,61 b	209,50 a
III	43,97 a	170,66 a	0,59 b	205,94 a
IV	39,64 a	157,28 a	0,59 b	203,06 a
Dosis (Kg N.ha ⁻¹)				
100	39,50 a	139,05 a	0,62 a	202,33 a
50	37,48 a	141,50 a	0,62 a	207,63 a
25	36,48 a	128,10 a	0,62 a	197,08 a
CV	23,42	28,46	6,04	28,55

Letras distintas en la misma columna dentro de cada factor, indican diferencia significativa según la prueba de medias de Tukey ($p < 0,05$). S: tipo de suelo; TC: tipo de compost; D: dosis; I: cáscara 75%+25% torta; II: cáscara 50%+50% torta; III: cáscara 25%+75% torta; IV: 100% torta; CV: Coeficiente de variación.

En la Tabla 6 se muestran las medias para longitud total y diámetro promedio de raíces, que fueron las únicas variables que resultaron con diferencia significativa ($p < 0,05$) para la interacción suelo x tipo de compost (Tabla 4). En el caso de la longitud total, las mayores medias se obtuvieron para el suelo arcilloso en el que se aplicó 25% cáscara + 75% torta y 100% torta, sin diferencia entre ellas, mientras que la menor media se observó en ese mismo tipo de suelo con 75% cáscara + 25% torta, sin diferencia con respecto a la del tratamiento con suelo arcilloso y la mezcla 50% cáscara más 50% torta;

en el suelo arenoso todas las medias para esta variable fueron similares, sin diferencia en relación a la de este último tratamiento mencionado. En cuanto al diámetro promedio, la mayor media se obtuvo en el tratamiento con suelo arcilloso y la mezcla 75% cáscara + 25% torta, mientras que las menores medias correspondieron al suelo arcilloso con 25% cáscara + 75% torta y 100% torta, sin diferencia entre ellas, siendo las mismas similares a la media del tratamiento con suelo arcilloso al que se aplicó cáscara 50% + torta 50%; en el suelo arenoso todas las medias para esta variable fueron similares para los distintos tipos de compost, sin diferencia con respecto al promedio de este último tratamiento descrito.

Al analizar el comportamiento de las plantas para longitud total y diámetro de las raíces considerando la interacción doble suelo x tipo de compost, es evidente que las raíces de mayor longitud y menor diámetro se observaron en el suelo arcilloso y en los tratamientos donde el compost incluyó la mayor proporción de torta de piñón. Es posible que esa mayor longitud haya sido influenciada no solo por el mejor contenido nutricional de la torta de piñón, en comparación con la cáscara (Vera y Pisco, 2020) como se mencionó anteriormente, sino además por una mejor capacidad de retención de agua en el caso del suelo arcilloso. En cuanto al diámetro de las raíces, estos resultados coinciden con lo reportado por Pire y Pereira (2018), quienes trabajando con chile jalapeño (*Capsicum annum*), encontraron que el diámetro de las partículas de suelo influyó el grosor de las raíces y éstas fueron de menor diámetro cuando el suelo estaba formado por partículas de menor diámetro, y tenía un mayor porcentaje de porosidad de aireación y una mayor capacidad de retención de agua.

Tabla 6. Valores promedio de longitud total y diámetro promedio del sistema radical en plantas de frejol caupí, cultivadas en condiciones de umbráculo con dos tipos de suelo y cuatro tipos de compost en tres dosis distintas considerando la interacción Suelo x Tipo de Compost.

FACTORES		VARIABLES	
S	TC	Longitud Total (m)	Diámetro Promedio (mm)
Arenoso	I	120,62 bc	0,63 b
Arenoso	II	138,61 b	0,62 b
Arenoso	III	137,26 b	0,62 b
Arenoso	IV	112,18 bc	0,62 bc
Arcilloso	I	67,51 c	0,73 a
Arcilloso	II	107,14 bc	0,59 bc
Arcilloso	III	204,06 a	0,56 c
Arcilloso	IV	202,37 a	0,56 c
CV		28,46	6,04

Letras distintas en la misma columna dentro de cada factor, indican diferencia significativa según la prueba de medias de Tukey ($p < 0,05$). S: tipo de suelo; TC: tipo de compost; I: cáscara 75%+25% torta; II: cáscara 50%+50% torta; III: cáscara 25%+75% torta, IV: 100% torta; CV: coeficiente de variación.

En la Tabla 7 se muestran las medias obtenidas para la interacción triple en el caso del volumen de raíces, ya que esta fue la única variable en la que se encontró diferencia significativa para esta interacción (Tabla 4). La mayor media se obtuvo en el suelo arenoso tratado con 25% cáscara + 75% torta en dosis de 25 Kg N.ha⁻¹, sin diferencia respecto a tratamientos restantes, exceptuando aquellos en los que se usó suelo arenoso con 75% cáscara + 25% torta en dosis de 25, 50 y 100 Kg N.ha⁻¹, suelo arcilloso con cáscara 75% + torta 25% en dosis de 50 y 100 Kg N.ha⁻¹, suelo arcilloso con cáscara 50% + torta 50% y el tratamiento con suelo arcilloso al que se aplicó 75% cáscara + 25% torta en dosis de 25 Kg N.ha⁻¹, en los cuales el promedio de esta variable fue menor sin diferencia entre ellos, correspondiendo la menor media de volumen radical al último tratamiento indicado. Estos resultados para volumen radical considerando la interacción

triple, muestran similitud entre las medias la mayoría de los tratamientos, lo cual dificulta establecer una tendencia definida en cuanto al comportamiento de esta variable.

Tabla 7. Valores promedio de volumen del sistema radical en plantas de frejol caupí, cultivadas en condiciones de umbráculo con dos tipos de suelo y cuatro tipos de compost en tres dosis distintas considerando la interacción Suelo x Tipo de Compost x Dosis.

FACTORES			VARIABLE
S	TC	D (Kg N.ha ⁻¹)	Volumen radical (cm ³)
Arenoso	I	25	31,33 bc
Arenoso	I	50	42,33 abc
Arenoso	I	100	32,50 bc
Arenoso	II	25	35,50 abc
Arenoso	II	50	36,17 abc
Arenoso	II	100	53,83 ab
Arenoso	III	25	60,50 a
Arenoso	III	50	44,17 abc
Arenoso	III	100	37,83 abc
Arenoso	IV	25	34,33 abc
Arenoso	IV	50	36,00 abc
Arenoso	IV	100	50,67 ab
Arcilloso	I	25	22,50 c
Arcilloso	I	50	27,33 bc
Arcilloso	I	100	26,50 bc
Arcilloso	II	25	26,67 bc
Arcilloso	II	50	36,83 abc
Arcilloso	II	100	34,50 abc
Arcilloso	III	25	38,00 abc
Arcilloso	III	50	37,50 abc
Arcilloso	III	100	45,83 abc
Arcilloso	IV	25	43,00 abc

Arcilloso	IV	50	39,50 abc
Arcilloso	IV	100	34,33 abc

Letras distintas en la misma columna, indican diferencia significativa según la prueba de medias de Tukey ($p < 0,05$). S: Tipo de suelo; TC: Tipo de compost; D: Dosis; I: cáscara 75%+25% torta; II: cáscara 50%+50% torta; III: cáscara 25%+75% torta, IV: 100% torta.

Zambrano *et al.* (2020) en su investigación usando torta de piñón en frejol común como fertilizante, no encontraron presencia de nódulos cuando usaron torta pura, solo encontraron con torta digerida. Este comportamiento difiere de lo reportado por Madukwe *et al.* (2008) quienes encontraron mayor número de nódulos y mejor rendimiento en *Vigna unguiculata* utilizando fertilización orgánica, de esta manera se evidencia que no con cualquier fertilizante orgánico se obtienen resultados favorables como lo es el caso número de nódulos.

De acuerdo al comportamiento de las variables morfológicas de la raíz estudiadas en caupí, con los factores probados y sus interacciones, se puede indicar que en general los mejores resultados se obtuvieron con el suelo arcilloso y con el compost en el que el contenido de torta de piñón fue mayor, exceptuando el número de nódulos, que no respondió a ninguno de los factores probados. Estos resultados se complementan con los obtenidos por Vera y Pisco (2020), quienes probaron en la misma variedad de caupí usada en este estudio, con igual combinación de factores y condiciones de crecimiento, pero determinaron variables de crecimiento de la parte aérea de las plantas y los componentes del rendimiento y encontraron que las medias tanto para componentes del crecimiento de la parte aérea, porcentaje foliar de nitrógeno, contenido de clorofila, y los componentes del rendimiento, fueron mayores en el suelo arcilloso, en comparación con el arenoso; asimismo, en la mayoría de las variables el promedio más alto para esas variables correspondió a los tratamientos en los que se usó la mayor proporción de torta de piñón; sin embargo, para el factor dosis esos autores reportaron diferencias en los componentes del rendimiento del caupí, tanto considerando el factor simple, como en las interacciones doble y triple, lo cual no se observó en el presente estudio.

6. Conclusiones.

De acuerdo a los resultados obtenidos se logra concluir que:

- El factor que tuvo mayor efecto sobre las variables morfológicas de raíces estudiadas fue tipo de compost, seguido por el tipo de suelo.
- El sistema radical fue de mayor volumen y longitud total y las raíces tuvieron un menor diámetro promedio, cuando el compost incluyó mayor proporción de torta, que de cáscara de piñón.
- La interacción doble suelo x compost fue significativa para longitud y diámetro de raíces y las raíces con mayor longitud y menor diámetro promedio se observó en el suelo arcilloso con la mayor proporción de torta de piñón.
- La interacción triple solo fue significativa para volumen radical, pero con bastante similitud entre las medias de la mayoría de los tratamientos.
- El número de nódulos en las raíces no respondió a ninguno de los tres factores probados.
- El tratamiento que tuvo mejor comportamiento fue el que incluyó cáscara 25% más 75% torta y 100% torta.

7. Recomendaciones.

- Ejecutar el mismo estudio, pero bajo condiciones de campo en diferentes localidades para verificar si variarían los resultados por la incidencia de los factores clima y suelo de las distintas zonas.
- Considerar en conjunto variables de raíz y de la parte aérea de la planta, ya que así se podrá obtener una respuesta más integradora del efecto de los factores bajo estudio sobre el desarrollo y productividad del cultivo.

8. Referencias bibliográficas.

- Albán, M. (2012). *Manual del cultivo de frijol Caupí*. https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/CAUPI.pdf
- Avila Soler, E., García Salazar, J. y Valtierra Pacheco, E. (2018). Competitividad de la producción de *Jatropha curcas* en la región de La Frailesca, Chiapas, México, *Madera y Bosques*, 24(2). DOI: 10.21829/myb.2018.2421608
- Ayón, F., Veliz, D. y Julio G. (2017). El caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) y su respuesta a la aplicación de ácidos húmicos (AH's) en el Cantón Jipijapa en Ecuador, *J Selva Andina Biosph*, 5(1). DOI: 10.36610/j.jsab.2017.050100004
- Bohm, W. (1979). *Methods of studying root systems*. New York. Springer.
- Cañadas López, Á., Rade Llor, D., Domínguez Andrade, J., Vargas Hernández, J., Molina Hidrovo, C., Macías Llor, C. y Wehenkel, C. (2017). Variation in seed production of *Jatropha curcas* L. accessions under tropical dry forest conditions in Ecuador, *New Forests*, 48(6), 785–799. DOI: 10.1007/s11056-017-9597-1
- Cardona Ayala, C., Jarma Orozco, A., Araméndiz Tatis, H., Peña Agresott, M. y Vergara Córdoba, C. (2014). Respuestas fisiológicas y bioquímicas del frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp.) bajo déficit hídrico, *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 250-61. DOI: 10.17584/rcch.2014v8i2.3218
- Castro Bedriñana, J., Chirinos Peinado, D y Lara Schwartz, P. (2019). Evaluación del compost de guano de pollo en el rendimiento y calidad nutricional de la alfalfa en la sierra central del Perú, *Rev. Investig. Vet.* 30(4). DOI: 10.15381/rivep.v30i4.15756
- Chaimsohn, F., Villalobos, E. y Mora, J. (2007). El Fertilizante Orgánico Incrementa La Producción De Raíces En Pejibaye (*Bactris Gasipaes* K.), *Agronomía Costarricense*, 31(2). http://www.mag.go.cr/rev_agr/v31n02_057.pdf
- Chaturvedi, S. y Kumar, A. (2012). Bio-diesel waste as tailored organic fertilizer for improving yields and nutritive values of *Lycopersicon esculentum*

(tomato) crop, *Journal of soil science and plant nutrition*, 12(4), 801-810.
DOI: 10.4067/S0718-95162012005000033

- De Oliveira Pessoa, L., Lima, R., Kaschuk, G. y Machado, F. (2018). Desarrollo de las raíces como indicador de la sustentabilidad del suelo de los sistemas de cultivo en el Bioma de la Mata Atlántica, *Cultivos Tropicales*, 39(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362018000200001&lng=es&nrm=iso
- Díaz Hernández, B., Díaz Fuentes, V. y Aguirre Medina, J. (2013). Rendimiento de *Jatropha curcas* L. inoculada con micorriza y aplicación de composta de caña. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(4), 599-610.
DOI: 10.29312/remexca.v4i4.1192
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C. (1 de Junio de 2020). InfoStat versión 2018, Centro de Transferencia InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.infostat.com.ar>
- Elbl, J., Sláma P., Daria, M., Plošek, L., Adamcová, D., Škarpa, P., Kynický, J., Havlíček, Z., Dvořáčková, H., Brtnický, M. y Kabourková, E. (2016). Jatropha seed cake and organic waste compost: the potential for improvement of soil fertility, *Ecological Chemistry and Engineering*, 23(1), 131-141.
DOI: 10.1515/eces-2016-0009
- Fernández Domingo, R., Téllez Mazzocco, D., Hernández Hernández, M. y De La Cruz E. (2015). Evaluación de cinco sustratos para la obtención de plantas de la especie *Jatropha curcas*, *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 2(2), 169-184.
https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Ciencias_Naturales_y_Agropecuarias/vol2num2/Ciencias%20Naturales%20y%20Agropecuarias%20Vol%202%20Num%202%20Final_7.pdf
- Flores Hilario, E. y Montoya Navarro, K. (2018). Identificación y Cuantificación de aminoácidos esenciales en *Vigna unguiculata* (frejol castilla) y *Phaseolus vulgaris* (frejol guinda) por Cromatografía Líquida de Alta Performance (HPLC) [Tesis de Grado, Universidad Norbert Wiener]. <http://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/123456789/2207>

- Garcés, F., Olmedo, I., Garcés, R. y Díaz, T. (2015). Potencial agronómico de 18 líneas de fréjol F6 en Ecuador, *IDESIA*, 33(2), 107-118. DOI: 10.4067/S0718-34292015000200013
- Gómez, W. y Gutiérrez J. (2015). Respuesta fisiológica del frijol caupí *Vigna unguiculata* L., utilizado como abono verde en cultivo asociado con caña de azúcar *Saccharum officinarum* L., en suelos Pachic Haplustolls del municipio El Cerrito-Valle del Cauca [Tesis de Grado, Universidad Nacional Abierta y a distancia Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/3825>
- Kingswood Sideman, A. (2010). Estudio exploratorio de la producción de biodiesel a partir de aceite de *Jatropha curcas* en Chile [Tesis de grado, Universidad de Chile]. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103760>
- Landeros Gutiérrez, C. S. (2013). Potencial de la biomasa residual del fruto de *Jatropha curcas* L. para la producción de biogás: un enfoque experimental [Tesis de posgrado, Universidad Veracruzana]. <https://www.uv.mx/met/files/2015/11/LanderosGutierrezCesarSantos-Noviembre2013.pdf>
- Madukwe, D., Christo, I., y Onuh, M. (2008). Effects of organic manure and cowpea (*vigna unguiculata* (L.) Walp) varieties on the chemical properties of the soil and root nodulation, *Science World Journal*, 3(1), 43-46. DOI: 10.4314 / swj.v3i1.51772
- Massoud, A., Koreish, E., Rashad, M. y Kandil, M. (2017). Effect of *Jatropha curcas* Seed Cake on Soil Health Parameters and Growth of Wheat Plant (*Triticum aestivum* L.) Grown In Sandy and Calcareous Soils. *Alexandria Science Exchange Journal*, 38(3), 474-483. DOI: 10.21608/asejaiqjsae.2017.3796
- Mendoza, H., Mendoza, J., López, J., Mejía, N., Zambrano, F., Mendoza, M., Ponce, W. (2016). Variabilidad genética de la colección de piñón (*Jatropha curcas* L.) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador, usando marcadores tipo microsatélites, *Revista La Técnica*, (17), 18-29. DOI: 10.33936/la_tecnica.v0i17.691
- Mendoza Zambrano, H. y Linzán Macías, L. (2005). INIAP-463: Variedad de caupí de grano blanco y alto rendimiento para el Litoral Ecuatoriano,

INIAP, Estación Experimental Portoviejo, Programa de Horticultura.
(Plegable Divulgativo no. 218).
<http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1136>

- Montejo Martínez, D., Casanova Lugo, F., García Gómez, M., Oros Ortega, I., Díaz Echeverría, V. y Morales Maldonado, E. (2018). Respuesta foliar y radical del maíz a la fertilización biológica-química en un suelo Luvisol, *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 325-341. DOI: 10.15517/ma.v29i2.29511
- Morales Torres, M. (2007). Efecto de la aplicación de agroquímicos y abonos orgánicos sobre la producción de frijol y la población microbiana del suelo [Tesis de posgrado, Universidad de Guadalajara].
http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4566/Morales_Torres_Manuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Obando Castellanos, D. (2012). Respuesta fisiológica del frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) a la coinoculación de bacterias diazotróficas de los géneros *Azotobacter* y *Rhizobium* en suelos del departamento del Cesar [Tesis de Posgrado, Universidad Nacional de Colombia].
<http://www.bdigital.unal.edu.co/7266/1/07790779.2012.pdf>
- Ontiveros Cortés, A., Kohashi Shibata, J., Yáñez Jiménez, P., Acosta Gallegos, J., Martínez Villegas, E. y García Esteva, A. (2005). Crecimiento de la raíz del frijol con diferentes velocidades de secado del suelo, *Terra Latinoamericana*, 23(3), 311-320.
<http://www.redalyc.org/pdf/573/57311101002.pdf>
- Ortiz Rojas, Á. (2010). Evaluación del efecto de tres fertilizantes orgánicos a tres dosis diferentes sobre la tasa de crecimiento y rendimiento del frijol (*phaseolus vulgaris*) L. var. Cerinza, en condiciones de agricultura urbana [Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana].
<http://hdl.handle.net/10554/8493>
- Pabón Baquero, L. y Hernández Rodríguez, P. (2012). Importancia química de *Jatropha curcas* y sus aplicaciones biológicas, farmacológicas e industriales, *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 17(2), 194-209.
<http://scielo.sld.cu/pdf/pla/v17n2/pla08212.pdf>

- Paredes, M. (2013). Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas [Tesis de Grado, Universidad Católica Argentina]. <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/393>
- Peralta, E., Murrillo, A., Mazón, N., Pinzón, J., Villacres, E. (2013). Manual Agrícola de Fréjol y otras Leguminosas. Estación Experimental Santa Catalina INIAP. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2705/1/iniapscpm135%283%29.pdf>
- Pérez Rodríguez, M., Gaiad, J., Hidalgo, M. y Avanza, M. (2018). Classification of cowpea beans using multielemental fingerprinting combined with supervised learning, *Food Control*, 95, 232-241. DOI: 10.1016/j.foodcont.2018.08.001
- Pire, R. y Pereira, A. (2018). Tamaño de los poros del suelo y crecimiento de raíz y vástago del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.), *Agrociencia*. 52(5), 685-693. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v52n5/2521-9766-agro-52-05-685.pdf>
- Rodríguez Guerra, Y., Alemán, R., Domínguez, J., Soria, S., Hernández, H., Salazar, C. y Jara, M. (2016). Efecto de dos abonos orgánicos (compost y biol) sobre el desarrollo morfológico de Beta vulgaris L. var. Cicla bajo condiciones de invernadero, *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 5(2), 104-117. <http://revistas.proeditio.com/REVISTAMAZONICA/article/view/1231/1306>
- Rucoba García, A., Munguia, A. y Sarmiento, F. (2012). Entre la Jatropha y la pobreza: reflexiones sobre la producción de agrocombustibles en tierras de temporal en Yucatán, *Estudios Sociales*, 21(41). DOI: 10.24836/es.v21i41.76
- Santos Trinidad, A. y Velasco Velasco, J. (2016). Importancia de la materia orgánica en el suelo, *Agroproductividad*, 9(8), 52-58. https://www.researchgate.net/publication/315114517_Importancia_de_la_materia_organica_en_el_suelo
- Tennant, D. (1975). A Test of a Modified Line Intersect Method of Estimating Root Length, *Journal of Ecology*, 63(3), 995-1001. DOI: 10.2307/2258617
- Toral O., Iglesias J., Montes, S., Sotolongo, J., García, S. y Torsti, M. (2008). *Jatropha curcas* L., una especie arbórea con potencial energético en Cuba, *Pastos y Forrajes*, 31(3), 191-207.

https://pdfs.semanticscholar.org/2c8c/ee652b7c31e90485c7a8fb3e017aa16a3193.pdf?_ga=2.169950181.43518473.1598627302-108224415.1598627302

- Torres Guerrero, C., Etchevers, J., Fuentes, M., Govaerts, B., De León, F. y Herrera J. (2013). Influencia de las raíces sobre la agregación del suelo, *Terra Latinoamericana*, 31(1), 71-84.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792013000100071&lng=es&tlng=es
- Vera, B. y Pisco, A. (2020). Efecto del compost de torta y cáscara de piñón (*Jatropha curcas* L.) sobre el desarrollo y comportamiento productivo de fréjol caupí (*vigna unguiculata* Walp.), en dos tipos de suelo [Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Manabí].
<http://repositorio.utm.edu.ec/handle/123456789/1518>.
- Zambrano Gavilanes, F., Souza, D., Figueiredo, A., Cedeño, G., Zucareli, C., Tavares, J. y Guimaraes, M. (2020). Effect of Physic Nut Seed Cake on Common Bean Development and Clay Dispersion of Soil, *Pol. J. Environ. Stud.* 29(3), 2177-2184. DOI: 10.15244/pjoes/109726.
- Zuñiga Moreno, M. (2017). Efecto de los bioles utilizando tres fuentes de nitrógeno en el desarrollo del cultivo de amaranto (*Amaranthus quitensis* H.B.K.) y (*Amaranthus hypochondriacus* L.) [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato].
<http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26405/1/Tesis-177%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20526.pdf>

9. Anexos.



Anexo 1. Mezcla de los 10 kilogramos de suelo con sus respectivas combinaciones



Anexo 2. Frejol caupí en la fase juvenil.



Anexo 3. Limpieza de las raíces con agua.



Anexo 4. Desarrollo de las raíces entre el suelo arenoso y arcilloso.



Anexo 5. Conservación de las raíces.



Anexo 6. Medición del volumen de las raíces.



Anexo 7. Preparación de la solución acuosa de safranina a 0.5%.



Anexo 8. Explicación de la tutora para medir las intersecciones de las raíces



Anexo 9. Medición de las intersecciones de las raíces.