

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES
ORGÁNICOS SOBRE TRES VARIABLES AGRONÓMICAS DE UN CULTIVO DE
JATROPHA (*Jatropha curcas L.*).

RONALD YAMIT VALENCIA ARBELÁEZ.

UNIVERSIDAD DEL VALLE.
FACULTAD DE INGENIERÍA.
ESCUELA INGENIERÍA DE LOS RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE.
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA.
SANTIAGO DE CALI.
2015.

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES
ORGÁNICOS SOBRE TRES VARIABLES AGRONÓMICAS DE UN CULTIVO DE
JATROPHA (*Jatropha curcas L.*).

RONALD YAMIT VALENCIA ARBELÁEZ.

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero
Agrícola.

Director de Trabajo de Grado:
JAIME RESTREPO, Ph.D.

Codirectores de Trabajo de Grado:
ALDEMAR REYES, M.Sc.
ANA JULIA COLMENARES, Ph.D.

UNIVERSIDAD DEL VALLE.
FACULTAD DE INGENIERÍA.
ESCUELA DE INGENIERÍA LOS RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE.
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA.
SANTIAGO DE CALI.
2015.

Tres.....

Tres son las luces que siempre veo brillar en el firmamento, sin importar si es de día o de noche.

Tres son las voces que me alientan a superar cualquier dificultad.

Tres son los motivos por los que debo esforzarme cada día a ser mejor.

Tres son las razones que me obligan a lucir una sonrisa.

Tres enormes razones por las cuales vivir.

Freddy Yamit Valencia

Alba Nelly Arbeláez

Stéfany Valencia Arbeláez

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar doy gracias a Dios por brindarme su resguardo, y por concederme la fortaleza necesaria para superar esta difícil etapa de mi vida.

Agradezco a mi familia por el apoyo incondicional e incommensurable que he recibido.

Mil gracias a mis compañeras y compañeros, quienes con su apoyo, sus consejos, su amistad o simplemente con su compañía han sido para mí una verdadera bendición.

Quiero también agradecer al profesor Jaime Restrepo por su excelente labor como director de mi trabajo de grado, y al profesor Aldemar Reyes por sus valiosas indicaciones.

Gracias a las personas del grupo de investigación Hidromar por el gran apoyo que he recibido. También quiero reconocer a las personas del Grupo de Investigación en Dinámica de Fluidos, Regar, Irehisa, y del Laboratorio de Suelos y Aguas Agrícolas, por su colaboración y excelente disposición hacia mí.

Por último quiero mostrar mi gratitud hacia el señor Dagoberto Sinisterra, por su muy valiosa colaboración en la ejecución de mi trabajo de grado, al aportar su gran conocimiento.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.	1
2. JUSTIFICACIÓN.....	2
3. OBJETIVOS.....	3
3.1. Objetivo General.....	3
3.2. Objetivos Específicos.	3
4. MARCO TEÓRICO.	4
4.1. El Suelo.....	4
4.1.1. Fertilidad del Suelo.....	4
4.2. Propiedades Físicas del Suelo.....	5
4.2.1. Textura.....	5
4.2.2. Densidad Aparente.	5
4.3. Propiedades Químicas del Suelo.	6
4.3.1. La reacción del Suelo.	6
4.3.2. Nutrientes del suelo.	6
4.4. La materia Orgánica del Suelo.	9
4.5. La Agricultura Orgánica.....	10
4.5.1. Productos Orgánicos.....	11
4.6. <i>Jatropha (Jatropha curcas L.)</i>	12
4.6.1. Taxonomía y Descripción de la <i>Jatropha</i>	12
4.6.2. Usos de la <i>Jatropha</i>	15
5. ANTECEDENTES.....	17
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
6.1. Localización.....	19
6.2. Diseño Experimental.	19
6.2.1. Tratamientos.	20
6.2.2. Variables de Respuesta.....	21
6.3. Prácticas asociadas al establecimiento y manejo del Cultivo.....	22
6.3.1. Análisis de Suelo.	22
6.3.2. Cálculo de dosis de fertilizante.....	23
6.3.3. Adecuación de terreno.....	25
6.3.4. Siembra.....	25

6.3.5. Aplicación de fertilizantes.	25
6.3.6. Riego.....	27
6.3.7. Control plagas y malezas.	28
6.4. Análisis estadístico.	28
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	30
7.1. Análisis del Suelo.	30
7.2. Seguimiento al comportamiento del cultivo de Jatropha.....	32
7.2.1. Crecimiento del cultivo.	32
7.2.2. Floración del Cultivo.	34
7.2.3. Producción de frutos.	34
7.2.4. Plagas Detectadas.	35
7.3. Evaluación del efecto de tratamientos (Análisis Estadístico).....	36
7.3.1. Diámetro de Tallo.....	36
7.3.2. Altura de la planta.....	37
7.3.3. Rendimiento.....	38
8. CONCLUSIONES.....	40
9. RECOMENDACIONES.	41
10. BIBLIOGRAFÍA.	42
ANEXOS.....	51

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Fruto de <i>Jatropha</i>	14
Figura 2. Esquema de Unidad Experimental.	19
Figura 3. Distribución Aleatoria de los tratamientos en parcela experimental.	20
Figura 4. Medición de diámetro del tallo.	21
Figura 5. Medición de altura de las plantas.	21
Figura 6. Pesaje de frutos maduros.....	22
Figura 7. Siembra en terreno de plántula de <i>Jatropha</i>	25
Figura 8. Aplicación de abonos orgánicos.....	26
Figura 9. Aplicación de fertilizante mineral disuelto en agua.	27
Figura 10. Riego manual de plántulas.	27
Figura 11. Erradicación manual de malezas.	28
Figura 12. Crecimiento del cultivo en función del tiempo..	33
Figura 13. Inflorescencias de <i>Jatropha</i>	34
Figura 14. Etapas del fruto de <i>Jatropha</i>	35
Figura 15. Daños causados por hormigas.	35
Figura 16.Efecto de los tratamientos sobre el diámetro de las plantas.	36
Figura 17. Efecto de los tratamientos sobre la altura de las plantas.	37
Figura 18. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento del cultivo.	38

LISTADO DE TABLAS.

Tabla 1. Clasificación de los separados del suelo, según el sistema USDA..	5
Tabla 2. Función de los macronutrientes primarios.	7
Tabla 3. Importancia de los micronutrientes en las plantas.....	8
Tabla 4. Efecto general de la materia orgánica las propiedades del suelo	9
Tabla 5. Clasificación Taxonómica del Piñón.....	13
Tabla 6. Tratamientos utilizados y simbología.....	20
Tabla 7. Propiedades del suelo cuantificadas.	23
Tabla 8. Balance de nutrientes en el suelo.....	23
Tabla 9. Dosis de Lombricompost.....	24
Tabla 10. Dosis de gallinaza.....	24
Tabla 11. Dosis de fertilizante mineral.....	24
Tabla 12. Dosis de riego, por mes.	28
Tabla 13. Resultados de Análisis del Suelo.....	30
Tabla 14. Caracterización del suelo de parcela experimental	30
Tabla 15. Resumen de registro mensual de Diámetro de tallo y Altura de las plantas.	32

LISTADO DE ABREVIATURAS.

ARN: Ácido ribonucleico.

CIC: Capacidad de intercambio catiónico.

C/N: Relación carbono nitrógeno.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

FONAG: Fondo para la protección del agua.

FUNDASES: Fundación de asesorías para el sector rural.

ICA: Instituto colombiano agropecuario.

IFA: Asociación internacional de la industria de los fertilizantes.

IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Kc: Coeficiente de cultivo.

msnm: metros sobre el nivel de mar.

OMG: Organismo genéticamente modificado.

SCCS: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.

USDA: Departamento de Agricultura de Los Estados Unidos.

RESUMEN:

En el presente estudio se evaluó el efecto producido sobre un cultivo de *Jatropha* al aplicar fertilizantes de tipo orgánico, haciendo seguimiento durante un periodo de seis meses. Se empleó un diseño experimental en bloques completos al azar, tres repeticiones, con la fertilización como único factor en ocho niveles, en los que aplicó Lombricompost y Gallinaza mezclados con micorrizas y acondicionador líquido para suelos, también se incluyó un tratamiento de fertilización mineral y por último un tratamiento testigo. Como variables de respuesta se utilizaron: Diámetro de tallo, Altura de la planta, y gramos de fruto por planta. Se determinó que al no utilizar poda las plantas de *jatropha* pueden iniciar floración 133 días después de siembra, mientras sus frutos inician su formación 164 días después de siembra, y pueden ser cosechados 206 días posteriores a la siembra. No obstante, no se detectó diferencia estadísticamente significativa entre los en las variables de respuesta ante aplicación de los tratamientos de fertilización.

Palabras Clave: *Jatropha*, Lombricompost, Gallinaza, Micorriza, Acondicionador para suelos.

1. INTRODUCCIÓN.

La agricultura es sin lugar a duda uno de los ejes de la economía de cualquier país o región. Sin embargo la continua explotación y el mal uso de los recursos naturales, en especial del suelo, originados a partir de esta actividad, son tema de preocupación.

Tiempo atrás, los rendimientos de los cultivos eran modestos pero a su vez muy estables. La producción era asegurada por la rotación de diferentes cultivos dentro de un mismo espacio en el transcurso del tiempo. Simultáneamente las rotaciones suprimían la proliferación de insectos, plagas y enfermedades, puesto que este método permitía romper de forma efectiva el ciclo de vida de todos estos patógenos (Altieri, 1999).

A medida que las prácticas agrícolas avanzaron hacia las nuevas tendencias, la relación entre la agricultura y ecología fue quebrada en la medida en que los principios ecológicos fueron ignorados. La realidad muestra que la naturaleza de la agricultura y las políticas prevalecientes han llevado a la degradación ambiental, favoreciendo la mecanización, el monocultivo y una alta dependencia al uso de agroquímicos.

Los fertilizantes son sustancias que permiten compensar las pérdidas de nutrientes en el suelo, causadas bien sea por la erosión u otros factores. Estas sustancias actúan de forma inmediata, provocando mejoría notable en cuanto al rendimiento de los cultivos durante cortos periodos de tiempo, sin embargo, a largo plazo sus efectos se manifiestan en el deterioro de las condiciones del suelo (Conidaza, 1998).

Esto conlleva a la búsqueda de alternativas que permitan suplir las necesidades nutricionales de las plantas y obtener niveles rentables de producción, sin que ello represente un perjuicio para el medio ambiente.

Es por ello que se plantea el uso de fertilizantes orgánicos como la mejor solución, los cuales ofrecen un gran número de beneficios, reflejados en la calidad de los productos, los costos de producción, en la salud tanto de los consumidores como de los productores, y sobre todo en la conservación del ambiente.

En el presente estudio se pretende hacer un seguimiento a la aplicación de dos fertilizantes orgánicos (Compost y Lombricompost), junto con dos productos auxiliares como son las Micorrizas y un acondicionador líquido para suelos (Agroplux®), sobre un cultivo de *Jatropha* (*Jatropha curcas L*) de pequeña escala en un suelo de clima cálido.

2. JUSTIFICACIÓN.

En lo referente a movilidad sostenible, Colombia se verá influenciada positivamente por el uso masivo de biodiesel y alcohol carburante al disminuir una gran cantidad de efluentes gaseosos contaminantes (Cardona, 2009). No obstante, la producción de biocombustibles basado en el uso de productos agrícolas como el maíz, la soya, el aceite de palma, la caña de azúcar, la remolacha entre otros, traen consecuencias nefastas como es el incremento de los precios de los mismos, que amenazan la seguridad alimentaria humana (Laine, 2008). En Colombia el efecto más palpable se ha producido sobre el aceite de palma, puesto que las plantas productoras de biodiesel han aumentado su consumo mientras la capacidad productiva de los cultivos de palma de aceite no tienen respuesta inmediata (Cortés *et al.*, 2012).

Según información ofrecida por el Gobierno Colombiano, 3.2 millones de hectáreas pueden ser destinadas a la siembra de plantas con características oleaginosas como la palma africana, el sorgo dulce, y unas menos comunes como la higuera y *Jatropha curcas L.* Ésta última es considerada como una de las mejores opciones para la obtención de aceite vegetal apto para la producción de combustibles, ya que no desplaza cultivos agrícolas comestibles, es protectora de fauna, flora y vegetación, genera abonos orgánicos y captura carbono (Hidalgo y Torres, 2012). La *Jatropha* (*Jatropha curcas L* produce frutos cuyas semillas presentan un alto contenido de aceite (30% - 40%). Este aceite se puede emplear directamente como biocombustible para motores adaptados, o procesarse para producir biodiesel (Joerdens, 2007).

Todo lo mencionado anteriormente impulsa a que el presente estudio pretenda en primer lugar proponer el cultivo de *Jatropha* como fuente de energía, puesto que al no tratarse de una especie vegetal comestible, se espera que la producción de biodiesel a partir del aceite de sus semillas no provoque un incremento en los precios de ciertos productos alimenticios que conforman la canasta familiar.

De forma simultánea se pretende incentivar el uso de insumos orgánicos en la agricultura. Colombia ha tenido experiencias exitosas en la producción y comercialización nacional e internacional de algunos productos tropicales como banano, mango, piña, frutas deshidratadas, café, y aceite de palma entre otros (Cruz, 2011).

Por tanto resulta importante poner a prueba el comportamiento de un cultivo de *Jatropha curcas L.* bajo el régimen de fertilización orgánica, con miras a la producción de biodiesel. Lo anterior justificado en que no resulta coherente pretender mejorar las condiciones del medio ambiente al disminuir las emisiones de gases invernaderos provenientes de combustibles fósiles y simultáneamente potenciar la seguridad alimentaria, si ello implica recurrir a la agricultura intensiva, y en especial a los agroquímicos, que se encargarán de producir un deterioro severo en las condiciones del agua y el suelo.

3. OBJETIVOS.

3.1. Objetivo General.

Evaluar la aplicación de distintas combinaciones entre dos fertilizantes orgánicos y dos productos complementarios mediante su manifestación sobre las variables agronómicas Diámetro del tallo, Altura de la Plantas y Kilogramos de fruto por planta de un cultivo de *Jatropha* (*Jatropha curcas L.*).

3.2. Objetivos Específicos.

- Hacer seguimiento al comportamiento de un cultivo de *Jatropha curcas L.* durante su etapa inicial.
- Analizar el efecto de los abonos orgánicos sobre las características agronómicas de las plantas de *Jatropha*.

4. MARCO TEÓRICO.

4.1. El Suelo.

Es la capa superficial de la tierra, la que ha sido transformada muy despacio por la descomposición a través de la meteorización, la acción de la vegetación y del ser humano. Este se encarga de brindar soporte a las plantas en forma de capa permeable para las raíces, y es una especie de depósito para los nutrientes y el agua (FAO e IFA, 2002).

Sánchez (2007) define al suelo como un ente natural, tridimensional, trifásico, dinámico, sobre el cual crecen y se desarrollan la mayoría de las plantas. Lo clasifica como un ente debido a que tiene vida, tridimensional ya que es observado a lo largo, ancho y en profundidad, trifásico pues se compone de tres fases: sólida, líquida y gaseosa, dinámico porque dentro del suelo ocurren procesos que involucran cambios físicos y reacciones químicas constantemente. Además es el medio natural donde crecen las plantas, por tanto sirve como soporte.

Blum (1998), citado por López (2002), enuncia seis funciones básicas del suelo:

- La producción de biomasa, la cual asegura la suplencia de alimentos, forraje, fibras, materia prima; una función indispensable para la vida humana y de las demás especies.
- Filtración, amortiguación y transformación de compuestos adversos entre la atmósfera, el agua subterránea y las raíces de las plantas.
- Hábitat biológico, por lo cual se constituye en una reserva de genes, ya que una gran variedad de organismos viven sobre y/o dentro del suelo.
- Basamento para desarrollo de estructuras técnicas, industriales y socio-económicas, tales como; desarrollos urbanos, complejos industriales, carreteras, etc.
- Almacén de energía geogénica y materias primas, al igual que hacer las veces de reserva y regulador del agua.
- Herencia geogénica y cultural; pues el suelo hace parte del paisaje y constituye un yacimiento de tesoros arqueológicos de gran importancia para el entendimiento de la historia del planeta y de la humanidad.

4.1.1. Fertilidad del Suelo.

Es un atributo resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo y que consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas. En lo referente al suministro de condiciones óptimas para el asentamiento de las plantas, estas características no actúan independientemente, sino en armónica interrelación, que en conjunto determinan la fertilidad del suelo (Sánchez, 2007).

4.2. Propiedades Físicas del Suelo.

La manera en que interactúan las fases sólida, líquida y gaseosa, define el campo de actividad de la Física de suelos. Al determinar la estructura y la organización de la fase sólida, queda definido, también, el espacio que van a ocupar las otras dos fases (Jaramillo, 2002).

4.2.1. Textura.

Se define como la proporción en peso de arenas, limos y arcillas presentes en un suelo (Mahilum, 2004). La textura es una propiedad exclusiva de la fase sólida del suelo y, más específicamente, de la fracción inorgánica. Es, además, una propiedad fuertemente dependiente del material parental del suelo (Jaramillo, 2002). La Tabla 1 hace mención a las características de las clases texturales:

Tabla 1. Clasificación de los separados del suelo, según el sistema USDA. (Tomada parcialmente de Jaramillo, 2002).

Separado	Diámetro de partícula (mm)
Arena muy gruesa	2 - 1
Arena gruesa	1 - 0.5
Arena media	0.5 - 0.25
Arena fina	0.25 - 0.1
Arena muy fina	0.1 - 0.05
Limo grueso	0.05 - 0.02
Limo medio	0.02 - 0.005
Limo fino	0.005 - 0.002
Arcilla gruesa	0.002 - 0.0002
Arcilla fina	>0.0002

4.2.2. Densidad Aparente.

Se define como el peso por unidad de volumen de suelo secado al horno, expresándose generalmente en gramos por centímetro cúbico (De la Rosa, 2008), y está afectada por su textura, su estructura, su contenido de materia orgánica, su humedad (en especial en suelos con materiales expansivos) y su grado de compactación, principalmente (Jaramillo, 2002).

La densidad aparente tiene interés desde el punto de vista del manejo del suelo, ya que informa sobre la compactación de cada horizonte, permite inferir las dificultades para la emergencia, el enraizamiento y la circulación del agua y el aire. Jaramillo (2002) afirma que aumentos en el valor de éste parámetro indica una pérdida de materia orgánica.

También se tiene el parámetro de la densidad real, que debido a la composición mineral tiende a ser constante en la mayoría de los suelos, por tanto se estima que varía entre 2.6 a 2.7 g/cm³ para todos los suelos (Sánchez, 2007). Debido a esto no se ha dado gran consideración a dicho parámetro en el desarrollo de este trabajo.

4.3. Propiedades Químicas del Suelo.

4.3.1. La reacción del Suelo.

La reacción o pH es el grado de acidez o basicidad en la solución del suelo, y ejerce un poderoso efecto sobre las reacciones químicas que ocurren en este (Mahilum, 2004). El pH del suelo resulta de la interacción de los minerales del mismo (iones en solución) y el intercambio de cationes. En las condiciones más simples, el pH está producido por la reacción del agua y de las bases de calcio, magnesio, y sodio, para formar iones hidroxilo (Plaster, 2000).

Muchos elementos del suelo cambian de forma al producirse reacciones en el mismo. Las plantas pueden ser capaces o no de usar elementos en sus formas cambiadas. Un buen ejemplo es el fósforo. Cuando el pH del suelo cae por debajo de 5.8, el fósforo reacciona con el hierro para producir un compuesto insoluble. Por encima de un pH de 6.0 el fósforo tiende a ser libre. A un valor de pH alto, el fósforo reacciona con el calcio al igual que con el aluminio en el caso anterior. Por consiguiente el fósforo se encuentra en mayor disponibilidad para las plantas entre pH de 6.0 y 7.0 (Plaster, 2000).

Los suelos que no pueden suministrar suficientes nutrientes pueden realmente contener tales elementos, sólo que se encuentra bloqueado debido a que el suelo presenta acidez o alcalinidad (Plaster, 2000).

En lo que respecta a los microorganismos está suficientemente reconocido que las bacterias y los actinomicetos actúan mejor en suelos minerales con valores de pH intermedios y elevados. Su actividad se reduce notablemente cuando el pH es inferior a 5.5. La nitrificación y la fijación del nitrógeno atmosférico por ejemplo sólo se producen cuando el pH es superior a 5; y la aminización y amonificación se reducen considerablemente a valores de pH más bajos. Una notable excepción, no obstante, se presenta con las bacterias que oxidan el azufre, las cuales parecen indiferentes a la reacción que pueda presentar el suelo. La elevada acidez se ha mostrado, que inhibe el desarrollo de las lombrices en los suelos (Navarro y Navarro, 2003).

4.3.2. Nutrientes del suelo.

Los nutrientes pueden provenir de distintas fuentes, como la reserva natural del suelo, o de procesos asociados al suelo como son la fertilización, la irrigación y la precipitación, la descomposición y mineralización de residuos vegetales y animales, o por acción de los microorganismos (Sánchez, 2007).

Las plantas usan en grandes cantidades seis elementos, los macronutrientes, estos son el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. Los suelos probablemente tienen menos deficiencia de calcio, magnesio y azufre que los tres macronutrientes. Debido a que la mayoría de los suelos suministran suficiente calcio, magnesio y azufre, los edafólogos los denominan macronutrientes secundarios. Los macronutrientes primarios no están normalmente disponibles en cantidades suficientemente grandes para un crecimiento óptimo de las plantas, sus funciones se muestran en la Tabla 2. Estos macronutrientes primarios son frecuentemente añadidos al suelo mediante fertilización. Los seis macronutrientes, a excepción del potasio, forman parte de los materiales que conforman el tejido de la planta (Plaster, 2000).

Tabla 2. Función de los macronutrientes primarios según Sánchez (2007).

Elemento	Función
Nitrógeno (N)	Forma parte de la estructura de los aminoácidos y de las proteínas, las bases nitrogenadas y los ácidos nucleicos, así como de las enzimas y coenzimas, vitaminas, entre otras. Actúa como constituyente y activador de todas las enzimas. Interviene en procesos de, absorción iónica, fotosíntesis, respiración, síntesis multiplicación y diferenciación celular, herencia
Fósforo (P)	Hace parte estructural de ésteres de carbohidratos, fosfolípidos, coenzimas, ácidos nucleicos. Interviene en los procesos de almacenamiento y transferencia de energía, fijación simbiótica de nitrógeno y en otros procesos con el nitrógeno.
Potasio (K)	Interviene en procesos osmóticos, apertura y cierre de estomas, fotosíntesis y transporte de carbohidratos, respiración, fijación simbiótica de nitrógeno.

El calcio es el tercer nutriente más usado por las plantas (Plaster, 2000), en las células de las plantas es parte esencial de la estructura de la pared celular, permitiendo el transporte o bien sea al almacenamiento de otros elementos, al igual que brinda fortaleza a la planta. Es sabido también que contrarresta efectos de sales alcalinas y ácidos orgánicos al interior de la planta. El calcio existe en delicado balance con el Magnesio y el Potasio, cantidades en exceso de cualquiera de éstos puede causar insuficiencias de los otros dos (Parker, 2010).

El magnesio es un catión divalente cuya absorción puede ser disminuida por otros cationes o un pH bajo. Las funciones de este elemento en las plantas están relacionadas con su movilidad dentro de las células y su capacidad para interactuar con otros compuestos a través de enlaces iónicos y convertirse en elemento puente en la formación de complejos la mayor función del Mg^{2+} y la más conocida es como átomo central de la molécula de clorofila. El Mg^{2+} también es necesario para la neutralización de los ácidos orgánicos, los grupos fosforilos de los fosfolípidos y los ácidos nucleicos. En la síntesis de proteínas el

Mg^{2+} contribuye a mantener la unión entre las subunidades de los ribosomas y a activar las ARN polimerasas para la formación de ARN en el núcleo (SCCS, 2001).

El azufre es otro elemento esencial para el desarrollo vegetal. Durante el crecimiento de las plantas es requerido en cantidad similar al fósforo y al magnesio. Éste elemento es el constituyente de varias proteínas, y vitaminas como la tiamina y la biotina. Es además un componente importante de numerosas enzimas (Tamayo, 2006).

Azcon y Talón (2000), citan otros elementos esenciales (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo y Cl) que se agrupan bajo la denominación de micronutrientes, elementos traza u oligoelementos. Resultan tan esenciales como cualquier macroelemento y, en consecuencia, deben cumplir los mismos requisitos que satisfacen los macroelementos. Su nombre hace referencia a la baja concentración con la que se encuentran en los tejidos, inferior al 0.1 ‰ (menos de 3 μmol / g de peso seco). Los oligoelementos juegan muchos papeles importantes en las plantas (ver Tabla 3). Excepto el Boro y el Cloro, los oligoelementos son metales. Éstos forman moléculas especiales metálico-orgánicas llamadas enzimas, que controlan importantes reacciones biológicas. Se necesita muy poca cantidad de cada enzima porque cada una es reutilizada repetidamente, sin embargo sin esta cantidad mínima los procesos importantes se retienen (Plaster, 2000).

Tabla 3. Importancia de los micronutrientes en las plantas (Sánchez, 2007).

Elemento	Procesos en los que interviene
Hierro (Fe)	Fotosíntesis, respiración, fijación biológica de nitrógeno, asimilación de nitrógeno y de azufre.
Manganeso (Mn)	Absorción iónica, fotosíntesis, respiración, control hormonal y síntesis de proteínas.
Cobre (Cu)	Fotosíntesis, respiración, regulación hormonal, fijación de nitrógeno, metabolismo de compuestos secundarios.
Zinc (Zn)	Respiración, control hormonal y síntesis de proteínas.
Cloro (Cl)	Fotosíntesis
Boro (B)	Síntesis de ácidos nucleicos y proteínas.
Molibdeno (Mo)	Reducción del nitrato, fijación de nitrógeno, síntesis de proteínas.

Los oligoelementos son almacenados en el suelo de una forma diferente que los macronutrientes. Algunos elementos traza son almacenados en compuestos ligeramente solubles o se han involucrado en cierta medida con el intercambio de cationes. Muchos de ellos se combinan con moléculas orgánicas en el suelo para formar moléculas muy complejas llamadas quelatos. Un quelato es un átomo de metal rodeado por una molécula orgánica grande. Los quelatos son una forma importante de almacenaje para muchos oligoelementos (Plaster, 2000).

En el presente estudio sólo se tuvo en consideración las cantidades de macronutrientes primarios, debido a que sólo se dispone de literatura referente a éstos para el caso específico del cultivo de *Jatropha curcas L.*

4.4. La materia Orgánica del Suelo.

La materia orgánica del suelo es una mezcla de restos vegetales, animales, microbianos con los productos de su descomposición, que incluye sustancias húmicas de síntesis y millones de organismos vivos: mesofauna, microfauna y microorganismos que, junto con las enzimas, son responsables de innumerables procesos bioquímicos y biológicos que tienen lugar en el suelo y determinan su funcionamiento (Ceballos, 2010, citado por Porta *et al.*, 2013).

También se usa el término “humus” para referirse a la materia orgánica del suelo, y se define como la fracción orgánica que posee el suelo, excluyendo aquellos residuos vegetales y animales que aún no se han descompuesto (SSL, 1996, citado por Jaramillo, 2002).

La materia orgánica se puede considerar como el principal componente sólido que posee el suelo, puesto que de alguna manera se encuentra relacionada con casi todas las propiedades del mismo (Jaramillo, 2002). La Tabla 4 muestra algunos efectos de la materia orgánica en el suelo.

Tabla 4. Efecto general de la materia orgánica las propiedades del suelo (tomado parcialmente de Jaramillo, 2002).

Propiedad	Efecto al aumentar la materia orgánica
Estructura	Favorece su formación, aumenta el tamaño y estabilidad de los agregados.
Porosidad	Aumenta la cantidad de macroporos.
Aireación	Aumenta el volumen de aireación y mejora la circulación del aire.
Consistencia	Aumenta la friabilidad, disminuye la pegajosidad, la plasticidad y el encostramiento superficial; facilitando la labranza del suelo.
CIC	Incrementa su valor. En términos generales, 1 g de carbono orgánico aporta entre 3 y 4 meq a la CIC.
Nutrientes	Aporta algunos (N, P, S principalmente) durante el proceso de mineralización; puede ocasionar fijación de algunos elementos menores.
Biota	La principal fuente de energía para los organismos que viven en el suelo es la materia orgánica del mismo.

Parte de la materia orgánica incorporada y de la que contiene el propio suelo experimenta procesos de mineralización. La mineralización tiene importancia en el ciclo de los nutrientes de plantas, ya que clásicamente se acepta que la nutrición requiere de la

mineralización y liberación de nutrientes. Los procesos de mineralización dan lugar a productos inorgánicos tales como: H_2O , CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^- , SO_4^- (Porta *et al.*, 2003).

En dicho proceso de mineralización influye la relación C/N (Carbono - Nitrógeno), la cual mide la rapidez con la que se descompone la materia orgánica y su riqueza en nitrógeno. Cuando la relación C/N es alta significa que hay mucha energía y poco nitrógeno; por tanto prácticamente todo el N liberado es tomado por los microorganismos del suelo, quedando muy poco libre para ser utilizado por las plantas. Cuando la relación C/N es baja significa que hay mucho nitrógeno y poca energía. Una parte del N liberado es tomado por los microorganismos y el resto es incorporado al suelo y puede ser absorbido por las plantas. A medida que avanza la descomposición de la materia orgánica decrece la relación C/N; cuando llega a valores de 9 - 10, la materia orgánica queda totalmente transformada en humus (Flores, 2014).

Se han observado otros beneficios de la materia orgánica implicados en la nutrición vegetal. Se ha logrado demostrar que la aplicación de abonos orgánicos incrementa la producción de los cultivos, inclusive cuando son aplicados en suelos que presentan altos contenidos de materia orgánica nativa (Jaramillo, 2002).

4.5. La Agricultura Orgánica.

La agricultura orgánica se concreta en un acumulado de prácticas, articuladas a una producción agrícola sostenible, en relación con el medioambiente, los recursos naturales, la biodiversidad y el cuidado de la vida y la salud del ser humano a través de la alimentación sana. Además, se corresponde con la restricción de la utilización de insumos externos como los plaguicidas y fertilizantes de síntesis química o semillas transgénicas (organismos modificados genéticamente-OMG) a cambio de realizar las prácticas fitosanitarias y de producción a partir de procesos y controles naturales o biológicos para obtener producciones limpias, de mayor calidad nutricional, inocuas que no generen problemas a la salud humana y preserven el entorno o ecosistema (Lopera *et al.*, 2011).

Es importante mencionar que ésta debe entenderse como un modelo alternativo al esquema de revolución verde impulsado principalmente después de la Segunda Guerra Mundial (Martínez *et al.*, 2012). La revolución verde no solo produjo incrementos en la producción de alimentos, también tuvo efectos en la reducción de la diversidad de las especies de cultivo con un consecuente aumento de vulnerabilidad a plagas y enfermedades, desigualdad social, incremento en la dependencia de productos derivados del petróleo y el aumento del deterioro ambiental, en especial de los recursos suelo y agua, por su uso indiscriminado (Powers y McSorley, 2001, citado por Martínez *et al.*, 2012).

Con estos antecedentes, la agricultura orgánica tomó impulso en la década de los 80 fundamentándose en una serie de principios integrales de manejo de los sistemas de cultivo e involucrando elementos técnicos, sociales, económicos y agroecológicos que buscaron reducir la dependencia a los insumos externos y los impactos ambientales, proporcionando alimentos saludables a mercados altamente competitivos y exigentes. La demanda de

productos orgánicos se ha convertido en un mercado promisorio, donde el valor de las ventas mundiales pasó de 11 billones de dólares, a finales de la década de los 90, a 55 billones para el año 2009 (Willer, 2011, citado por Martínez *et al.*, 2012)

4.5.1. Productos Orgánicos.

Los abonos orgánicos posibilitan la degradación de los nutrientes del suelo y permiten que las plantas los asimilen de mejor manera ayudando a un óptimo desarrollo de los cultivos. Los abonos orgánicos no solo aumentan las condiciones nutritivas de la tierra sino que mejoran su condición física (estructura), incrementan la absorción del agua y mantienen la humedad del suelo. Su uso es recomendable para toda clase de suelos, especialmente, para aquellos de bajo contenido en materias orgánicas, desgastados por efectos de la erosión y su utilización contribuye a regenerar suelos aptos para la agricultura (FONAG, 2010).

4.5.1.1. Compost.

Se define como el resultado de una biotécnica donde es posible ejercer un control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica. Este proceso es consecuencia de la actividad de los microorganismos que crecen y se reproducen en los materiales orgánicos en descomposición. La consecuencia final de estas actividades vitales es la transformación de los materiales orgánicos originales en otras formas químicas. Los productos finales de esta degradación dependerán de los tipos de metabolismo y de los grupos fisiológicos que hayan intervenido. Es por estas razones, que los controles que se puedan ejercer, siempre estarán enfocados a favorecer el predominio de determinados metabolismos y en consecuencia a determinados grupos fisiológicos (Sztern y Pravia, 1999).

En el presente estudio se utilizó la gallinaza como fuente de fertilización. La gallinaza, se compone de una mezcla de deyecciones de aves y de un material absorbente que puede ser viruta, pasto seco, cascarillas, entre otros y este material se conoce con el nombre de cama (Estrada, 2005). Es un apreciado fertilizante orgánico, relativamente concentrado y de rápida acción. Se diferencia de todos los demás estiércoles en que su contenido de nutrientes es más alto, aunque claro está que su composición es variable, dependiendo de su ordenación, almacenamiento y de la cantidad de camas que se utilicen (Hernández y Cruz, 1993).

4.5.1.2. Lombricompost.

El lombricompost es un producto granulado, oscuro, liviano e inodoro; rico en enzimas y sustancias hormonales; posee un alto contenido de microorganismos, lo que lo hace superior a cualquier otro tipo de fertilizante orgánico conocido. El humus incorporado al suelo cumple un rol trascendente, al corregir y mejorar las condiciones químicas, físicas y biológicas del mismo. Como cualquier otro abono, sirve para ser incorporado en los surcos

de labranza o en las terrazas, puede ser utilizado en hoyos de plantación de cultivos anuales y perennes y en las siembras de hortalizas (FONAG, 2010).

4.5.1. 3. Acondicionador Líquido para Suelos.

Se piensa usar el producto Agroplux®, el cual se describe como un cultivo líquido de microorganismos, compuesto de diversas especies de bacterias, hongos, levaduras y actinomicetos nativos de Colombia, producidos a través de procesos de fermentación, los cuales se encargan de devolver el componente biótico al suelo. Este puede ser aplicado en diferentes estados fenológicos de los cultivos, inoculando semillas, raíces, plántulas y follajes (FUNDASES, 2009, citado Vergara, 2010).

4.5.1.4. Micorrizas.

Las micorrizas se definen como asociaciones entre ciertos hongos del suelo y las raíces de las plantas, considerada como una de las simbiosis más sorprendentes de la naturaleza. En esta relación de mutualismo el hongo coloniza la corteza de la raíz, sin causar daño a la planta, llegando a ser, fisiológica y morfológicamente, parte integrante de dicho órgano (Guerra, 2007). Entre la planta y el hongo se establece un trueque, la planta le proporciona al micobionte carbohidratos, y él la abastece de fósforo, nitrógeno, potasio, calcio, e incrementa la absorción de elementos menores como magnesio, cobre y zinc (Jaramillo, 2011).

4.6. *Jatropha* (*Jatropha curcas* L).

4.6.1. Taxonomía y Descripción de la *Jatropha*.

Por definición es un pequeño árbol o arbusto que puede alcanzar una altura superior a 5 m, que exuda látex a través de sus ramas. La planta muestra un crecimiento articulado, con discontinuidad morfológica en cada incremento (Heller, 1996).

No se ha determinado con certeza su lugar de origen, por lo general en la literatura se menciona que ésta especie es nativa de Centroamérica, más precisamente de México. Se maneja la teoría de que en realidad la especie surgió en Suramérica, en Perú, y que debido a su expansión a través del territorio sumado a la deriva continental logró llegar hasta el territorio de América Central (Quimbayo, 2010). Se piensa que fue difundida a través de África y Asia por navegantes portugueses, quienes la usaban como cerca para delimitar terrenos. En la actualidad se encuentra en países como la India, Cabo Verde, Benin, Guinea, México, entre otros (Joker y Jepsen, 2003). En la Tabla 5 se muestran los principales datos taxonómicos de la *Jatropha curcas* L.

Crece en alturas entre 0 y 1500 m.s.n.m, aunque su rango óptimo se encuentra entre 0 y 500 m.s.n.m. Requiere precipitaciones anuales entre los 250 y 2000 mm, y tiene la capacidad de resistir periodos prolongados de sequía. Es una especie resistente climas

calurosos, y puede soportar temperaturas bajas durante periodos muy cortos (Quimbayo, 2010).

Es de gran adaptabilidad y crece en todo tipo de suelos, aunque lo ideal son suelos arenosos, con buen drenaje, pues no tolera los encharcamientos. Requiere suelo fértil si se desea producir en forma intensiva, y se recomienda plantar en suelos cuyo pH se encuentre en el rango 6.0 – 8.5 (FACT, 2007, citado por Brittain y Litaladio, 2010).

Tabla 5. Clasificación Taxonómica del Piñón (Font, 2003).

Ficha Técnica	
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnolipsida</i>
Orden	<i>Euphorbiales</i>
Familia	<i>Euphorbiaceae</i>
Género	<i>Jatropha</i>
Especie	<i>curcas</i>
Epíteto Específico	<i>Jatropha curcas L.</i>

Tarda alrededor de 10 días en germinar, formando cinco raíces, una central y cuatro periféricas, junto con otras tantas de tipo secundario. Estando desarrollada, sus hojas se disponen de forma alterna a lo largo del tallo, siendo superficialmente lobuladas, cuyo ancho y longitud varía entre 6 y 15 cm. El tamaño y forma de estas puede diferir de una variedad a otra. El crecimiento de planta es rápido, algunos autores señalan que puede alcanzar 1 metro de altura e iniciar la floración en cinco meses si encuentra en condiciones muy favorables. Su crecimiento es simpoidal, con ramificación lateral. Generalmente tarda cinco años en llegar a su etapa de madurez (Heller, 1996).

Es una planta monoica, lo cual quiere decir que posee flores tanto masculinas como femeninas, de poco tamaño, aproximadamente de 6-8 mm, de color verdoso o amarillo, cuya polinización es facilitada por los insectos (Brittain y Litaladio, 2010).

Durante la inflorescencia se produce un manojo de aproximadamente 10 frutos, ovoides, carnosos, de color verde, que se tornan amarillos o cafés a medida que envejecen (ver Figura 1). Por lo general estos frutos son producto de polinización cruzada con otras plantas, pues al momento en que las flores macho emanan su polen, las flores hembra no se encuentran en periodo de recepción (Brittain y Litaladio, 2010). Los procesos de floración y fructificación son continuos, por lo que es muy común hallar plantas que presentan algunas frutas maduras y otras en proceso de formación. Tales frutos necesitan de 90 días para desarrollarse desde la floración hasta la maduración de la semilla, floración que usualmente es provocada por el inicio de las temporadas lluviosas. Cada fruto contiene tres semillas de color negro, de 2 cm de longitud y 1 cm de diámetro, las cuales pueden llegar a tener un 35% de aceite no comestible (Joker y Jepsen, 2003).

Bajo condiciones óptimas, la floración y fructificación inicia después de 4 – 5 meses posteriores al trasplante, y la primera cosecha se produce cerca de 7 meses después de dicho proceso, pero puede durar hasta el segundo año si la planta se poda para aumentar la de producción (Quimbayo, 2010).

El desarrollo vegetativo ocurre durante las temporadas de lluvia, mientras en los periodos secos el crecimiento es muy poco, al tiempo que la planta se desprende de sus hojas. El tiempo de vida útil de la *Jatropha* varía entre 30 y 50 años (Brittaine y Lutaladio, 2010).

La *Jatropha* puede propagarse por medio de esquejes o por medio de semillas, y se aconseja que ambos métodos el material genético provenga de plantas que hayan demostrado alto nivel de productividad, en especial, con alto contenido de aceite, considerando además que las condiciones de riego y fertilización serán las mismas que se utilizaron en las plantaciones anteriores. Por lo general, no se encuentran semillas certificadas para germinación de especímenes de alta productividad. En la actualidad no se ha definido con certeza cuál de los métodos es el mejor para ser implementado en cultivos a gran escala. Se plantea como mejor opción el uso de esquejes, puesto permiten obtener clones de productividad más confiable (Henning, 2009, citado por Brittaine y Lutaladio, 2010). Para ambos métodos se recomienda que inicialmente sean cultivados en invernadero, para después ser trasplantados al terreno, puesto que de este modo se logra una mayor tasa de supervivencia (Heller, 1996).



Figura 1. Fruto de *Jatropha*.

El uso de esquejes ofrece la ventaja de la uniformidad genética, junto con una rápida estabilización y poco tiempo de espera para el inicio de su producción. Sin embargo, también presenta desventajas como la escasez del material, los costos de preparación, transporte y plantación, comparado con el uso de semillas. Otra desventaja es que al reproducirse por este método la planta no desarrolla su raíz central, por lo que tendrá menor capacidad para captar el agua del suelo, y alcanzar las reservas de nutrientes, esto sumado a

que tendrá menor estabilidad ante las corrientes de aire. Los esquejes deben tener una longitud entre 25 y 120 cm, tomados desde la parte media o baja de ramas con al menos un año de edad. El crecimiento de las raíces tarda alrededor de 2 meses, y este proceso puede favorecerse usando suelos con buena aireación y capacidad de drenaje (Brittaine y Lutaladio, 2010).

La propagación por semillas requiere una fase inicial de desarrollo en invernadero, para asegurar mayor germinación y supervivencia. Las semillas deben ser cultivadas en bolsas durante tres meses, antes del inicio de las lluvias. Las bolsas deben tener una longitud tal que no afecten al desarrollo de la raíz central. Manteniendo las semillas en condiciones favorables de humedad es posible que germinen 6 a 15 días después de la siembra. Las plántulas deben ser trasplantadas después de transcurridos tres meses, o bien sea, cuando estas alcancen una altura de 30 a 40 cm, y antes de que las dimensiones de la bolsa afecten el desarrollo radicular (Joker y Jepsen, 2003).

4.6.2. Usos de la *Jatropha*.

Esta planta ofrece utilidades en muchos aspectos, tanto económicas como ambientales, e incluso medicinales. Desde el punto de vista de la ecología, la *Jatropha* provee utilidades. Esta planta ha demostrado ser efectiva para mitigar la erosión en los suelos a causa de las lluvias. Su raíz central penetra profundamente, anclando la planta al suelo, mientras las raíces laterales y secundarias, más cercanas a la superficie, añaden resistencia y estabilidad al suelo, reduciendo la probabilidad de que éste sea lavado por el agua de escorrentía, y su vez lo protege de erosión por viento (Brittaine y Lutaladio, 2010).

Puede ser una excelente alternativa en la reforestación de zonas erosionadas, para los agricultores que se encuentran en regiones donde sus cultivos han perdido el valor comercial, para aquellas tierras que no son aptas para cultivar, e inclusive como cultivo alternativo (Martínez, 2005)

Es una especie que permite la recuperación de suelos degradados. Gracias a sus raíces, especialmente su raíz principal, la *Jatropha* es capaz extraer minerales lixiviados a través del perfil del suelo. Estos minerales retornan a la superficie al momento en que la planta se desprende de sus hojas, o por medio de trozos de los frutos u otros restos orgánicos. Históricamente, en muchos países tropicales y subtropicales, ha sido usada como barrera para proteger jardines y terrenos de semovientes o animales ambulantes (Heller, 1996).

La *Jatropha* es muy conocida por sus propiedades medicinales, de ahí deriva su nombre; Jatrós (médico) y Trophé (alimento). El látex expulsado por esta planta es muy utilizado para la curación de heridas, especialmente para detener el sangrado, gracias a ciertos agentes coagulantes. También es usada para aliviar el dolor en picaduras de abejas y avispa. Los tallos frescos se usan como barras de mascar, que permiten fortalecer o curar las encías (Brittaine y Lutaladio, 2010).

La corteza tiene un efecto purgativo, similar al de las semillas. La corteza de su raíz seca y molida es usada como emplastro efectivo para expulsar parásitos y para curar la Ictericia (coloración amarilla en la piel y los ojos). Las Hojas también causan efectos purgativos. Cocciones de estas pueden usarse como tratamiento para la malaria y la hipertensión, e incluso puede usarse como antiséptico para recién nacidos. La savia de las hojas puede emplearse externamente para curar hemorroides, mientras que extractos de éstas en agua caliente pueden usarse oralmente para acelerar la secreción de leche en las mujeres después del parto (Brittaine y Lutaladio, 2010).

Desde el punto de vista del ámbito económico, su principal llamativo es la obtención de biodiesel a partir del aceite extraído de sus semillas, considerado como un potencial reemplazante del combustible convencional (van Peer, 2010). Entre todos los cultivos que producen aceite, la *Jatropha* se ha convertido en una planta con un gran potencial para la industria del biodiesel y en la que se están realizando grandes inversiones para su investigación y para el desarrollo, procesado y conversión en biodiesel (Rajagopal, 2008, citado por Galaz *et al.*, 2012). De acuerdo a cifras reportadas por el Ministerio de Minas y Energía (2006), a partir de una hectárea de *Jatropha* es posible obtener 1560 litros de biodiesel por año.

Durante este proceso de extracción se obtienen subproductos, como glicerina, con la cual se puede fabricar jabón, el cual al igual que el biodiesel, puede comercializarse a precios rentables, bien sea en mercados de pequeña escala (Kumar y Sharma, 2008).

Los residuos de semillas, a las que se les ha extraído el aceite, o torta de semillas, pueden usarse como fertilizante. La torta de semillas de *Jatropha* contiene un 58% de proteína cruda, en peso, cuyos porcentajes de nitrógeno, fósforo y potasio se encuentran en rangos de 3.2 - 4.5%, 1.4 - 2.1%, y 1.2 - 1.7%, respectivamente (Achten *et al.*, 2008). Srinophankun *et al.* (2012), emplearon torta de semillas de *Jatropha* como fertilizante en especies de coliflor, papa y tomate, obteniendo resultados bastante positivos, en cuanto al rendimiento de los cultivos, y en especial porque no se detectó toxicidad por ésteres de forbol, compuestos químicos característicos de la *Jatropha*, tanto en los frutos como en suelo.

Autores como Kumar y Sharma (2008), reportan el uso potencial del aceite de *Jatropha* y extractos acuosos a partir de éste como insecticida, siendo usado en el control de plagas del cultivo de algodón, como el gusano de algodón, y algunos otros cultivos como la papa y el maíz.

5. ANTECEDENTES.

Kumar, J.P. *et al.* (2008), en India, estudiaron el desarrollo de la planta de *Jatropha curcas* L. en suelos contaminados con elementos como Zinc, Arsénico, y Cromo, observando su evolución ante la aplicación de distintos fertilizantes orgánicos. Los resultados más alentadores se obtuvieron en el tratamiento de contaminación por Zinc, utilizando fertilización por medio de *Azobacter chroococcum*. Concluyeron que es posible mejorar las condiciones de suelos contaminados con los metales mencionados, usando plantas de *Jatropha* en conjunto con una adecuada fertilización.

Behera S. *et al.* (2009), en India, evaluaron el rendimiento del *Jatropha* bajo diferentes tratamientos de riego, fertilización y densidades de siembra. Sus resultados mostraron como mejores métodos de fertilización el uso de Micorrizas y los residuos de semillas de Piñón (Torta de semillas), mientras que en las frecuencias de riego, al igual que las densidades de siembra no se observaron grandes diferencias. En sus conclusiones sugieren frecuencias de riego de 30 días, con las que se obtiene una producción de biomasa considerable, y un ahorro en costos.

Fúnez (2009), en Honduras, utilizó diferentes sustratos basados en el compostaje de subproductos de una plantación anterior de *Jatropha curcas* L sobre una nueva, tales como; pulpa del fruto, ramas de la planta, testa de semillas y madera de árboles nativos de la zona. En cada sustrato se mantuvo una relación C/N =30. Los resultados mostraron que, considerando los escenarios en donde se realizó el estudio, el tratamiento más efectivo fue la mezcla de ramas-testa-madera con proporciones de 71.52, 19.8 y 8.68%, respectivamente.

Mohapatra y Panda (2011), en India, estudiaron la fertilización de plantas de *Jatropha* de cinco años de edad, en un suelo del orden Inceptisol, de textura limosa, con un pH de 5.52. Se usó un diseño experimental de bloques aleatorizados, con tres réplicas para cada tratamiento. Se utilizaron distintas dosis de cada macronutriente; nitrógeno en 40 y 60 gr/planta, Fósforo en 80 y 100 gr/planta, y Potasio en 75 y 60 gr/planta. Los productos usados como fertilizantes fueron Urea, Súper fosfato triple y Muriato de Potasio. En total se usaron 15 tratamientos que incluían dosis de sólo un elemento o combinaciones entre los tres ya mencionados, en sus dos niveles. Los resultados mostraron que al tratamiento de Nitrógeno de 60 gr/planta como más efectivo, puesto que su efecto se manifestó tanto en el tamaño de las plantas, como en la producción de fruto y el contenido de aceite en las semillas. Concluyeron que el Nitrógeno es elemento más importante en el desarrollo fisiológico de la *Jatropha*.

Shuriharn *et al.* (2011), en Tailandia, implementaron distintos tratamientos de fertilización y poda en un cultivo de *Jatropha curcas* sobre un suelo de textura arenosa, cuyo pH se encontraba entre 4.7 y 6.3. El cultivo empleado tenía cinco años de edad, para el cual establecieron tres tratamientos de poda de 50 cm desde el suelo, 70 cm y 90 cm. Cada uno de estos se encontraba subdividido en tres regímenes de fertilización; 0, 312.5 y 625 kg/ha del producto 15-15-15. En todos los casos se utilizó un espaciamiento de 2.5 m entre

surcos, y 1 m entre plantas. De acuerdo a sus resultados no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos de poda, tanto en el número de ramas cómo en la longitud de éstas. En cambio entre los tratamientos de fertilización el más destacado fue el 312.5 kg/ha, manifestado tanto en el número y longitud de las ramas, y en la producción de fruto, que alcanzó los 2221 kg/ha.

Hussein *et al.* (2012), en Egipto, probaron distintos fertilizantes tipo mineral y tipo orgánico sobre plantas de *Jatropha curcas*. Utilizaron un diseño experimental de bloques completamente al azar, con distancias entre plantas de 4m x 3m. El nitrógeno fue aplicado en forma de sulfato de amonio (400 g /planta), mientras el fósforo se aplicó en súper fosfato triple (200 g /planta), y el potasio como sulfato de potasio (150 g /planta), en lo corresponde a la fertilización sintética. En los tratamientos de fertilización orgánica se utilizaron heces de gallina y de vaca, de los cuales se aplicaron dosis de 5 kg/planta, junto con 0.25 gramos de *Arzospilirium sp. strains*, como inoculadores para las semillas. También se usaron tratamientos mixtos, 50% fertilizante sintético y 50% orgánico, tanto para los desechos de gallina como los de vaca. Después de 180 días desde la siembra, se seleccionaron los ejemplares aleatoriamente para la toma de datos. Usaron como variable de respuesta la altura de la planta, número de hojas, área superficial de las hojas, diámetro del tallo, longitud de la raíz. Los mejores resultados se obtuvieron mediante los tratamientos mixtos, siendo mayor en la mezcla con un 50% de heces de gallina.

Díaz *et al.*(2013), en México, aplicaron compost de caña y micorrizas (*Glomus intraradices*) sobre un cultivo de *Jatropha* al momento de trasplante al terreno. Emplearon cuatro tratamientos; un testigo, 1 Kg de compost, 40 g de micorriza y 1Kg de compost + 40g de micorriza. Como variables de respuesta utilizaron diámetro de tallo, número de frutos y semillas, y el peso frutos y semillas, las cuales fueron evaluadas a los 6, 12, 20 y 26 meses, después de siembra. En su estudio concluyeron que la aplicación de micorriza promueve un mayor desarrollo del diámetro del tallo, junto con un aumento en el número de frutos y semillas, mientras que la combinación de compost + micorriza indujo a una mayor producción, manifestada en la variable peso de frutos y semillas.

Montenegro *et al.* (2014), evaluaron el rendimiento de *Jatropha curcas* ante la aplicación de distintas dosis de Nitrógeno y Potasio. El experimento fue llevado a cabo en el municipio de El Espinal, Tolima, en el cual se emplearon fertilizantes de tipo mineral, Urea y Cloruro de Potasio, cada uno en cuatro dosis, 0, 50, 10 y 150 Kg/ha de Nitrógeno , y 0, 60, 120, 180 Kg/ha de Potasio. El cultivo fue establecido con una densidad de siembra de 3x2 m, al cual se hizo seguimiento por un periodo de 15 meses. Fueron registradas como variables de respuesta: cantidad de frutos, cantidad de semillas, y cantidad de aceite, todas éstas en Kg/ha. De acuerdo a sus reportes el tratamiento más efectivo fue la combinación de 150 Kg/ha de N + 120 Kg/ha de K, alcanzando una producción de frutos de 8805.3 Kg/ha, de los cuales se obtuvieron 4746 Kg/ha de semilla, y 1903.3 Kg/ha de aceite.

6.2.1. Tratamientos.

Se utilizaron dos abonos tipo orgánico; Compost (C) y Lombricompost (L), mezclados con dos productos auxiliares, acondicionador líquido para suelos (A) y Micorrizas (M). Todos los productos mencionados fueron obtenidos comercialmente.

Adicionalmente se utilizaron dos abonos convencionales, Urea como fuente de nitrógeno (46-0-0) y Agro-K[®], como fuente de fósforo y potasio (0-39-52) para dar lugar a un tratamiento a base de fertilizantes minerales. Por último se incluyó un tratamiento testigo, sin cantidad de fertilizante alguno. En la Tabla 6 se muestran los tratamientos utilizados.

Tabla 6. Tratamientos utilizados y simbología.

Combinación	Símbolo
Lombricompost + Acondicionador	1
Lombricompost + Micorriza	2
Lombricompost + Acondicionador + Micorrizas	3
Compost + Acondicionador	4
Compost + Micorrizas	5
Compost + Acondicionador + Micorrizas	6
Fertilizante Convencional	7
Testigo	8

La imagen a continuación representa la distribución de los tratamientos en la parcela experimental.

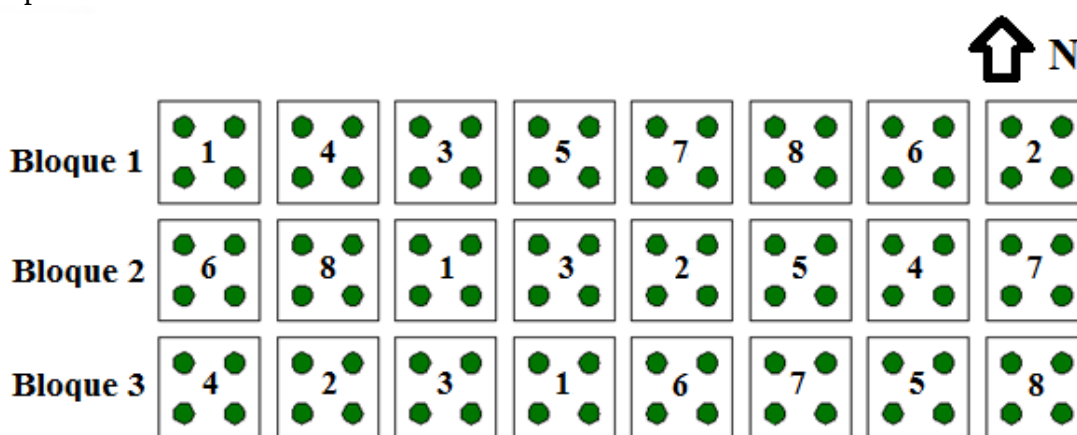


Figura 3. Distribución Aleatoria de los tratamientos en parcela experimental.

6.2.2. Variables de Respuesta.

Para el análisis del efecto producido por la aplicación de los tratamientos se fijaron tres variables de salida:

- **Diámetro de Tallo de la planta:** Se llevó a cabo la medición del diámetro basal de las plantas, a 1 cm de la superficie del suelo, siguiendo la metodología sugerida por Mostacedo y Fredricksen (2000), con una frecuencia mensual. Para ello se empleó un calibrador vernier o pie de rey (ver figura 4).



Figura 4. Medición de diámetro del tallo.

- **Altura de la Planta:** Se midió desde la superficie del suelo hasta el ápice del brote más alto en todas las plantas de la parcela, adoptando la metodología utilizada por Orozco y Thienhaus (1997), con una frecuencia mensual. Como herramienta de medición se empleó un metro de construcción (ver figura 5).



Figura 5. Medición de altura de las plantas.

- **Rendimiento:** Se llevó a cabo un conteo de la cantidad de fruto, en gramos, producidos por cada planta, una vez dichos frutos alcanzaron la etapa de madurez. Los frutos fueron recolectados manualmente. La maduración se evidencia cuando los frutos cambian del color verde al amarillo según Guerrero *et al.*(2011). Los frutos fueron pesados en una balanza electrónica (ver figura 6).



Figura 6. Pesaje de frutos maduros.

6.3. Prácticas asociadas al establecimiento y manejo del Cultivo.

En el desarrollo del presente estudio no se implementó la poda. Es importante hacer una poda apropiada, es una de las labores más importantes que, por la respuesta que ocasiona en la *Jatropha*, merece mayor estudio. Esta práctica es significativa para todo árbol o arbusto productor de frutos y semillas. Para ello, se requiere generar muchas ramas laterales, con el fin de aprovechar bien la luz solar y a la vez producir abundante floración y fructificación de calidad. El rendimiento de la planta depende mucho de la cantidad de ramas, debido a que es en la parte terminal donde se forman las flores y frutos (González *et al.*, 2011).

6.3.1. Análisis de Suelo.

El objetivo principal del muestreo de un suelo es obtener una medida del nivel promedio de fertilidad del campo (Roberts y Henry, 2001), por ello fue necesario llevar a cabo una exploración del suelo asignado para desarrollar el estudio antes de iniciar con establecimiento de la parcela experimental. Se extrajeron tres submuestras de suelo, con las cuales se conformó una muestra representativa de la parcela experimental, atendiendo a las pautas de Campos (2012) para realizar un correcto muestreo de suelos. En la Tabla 8 se muestran las propiedades del suelo analizadas y la metodología empleada.

Las muestras se tomaron hasta una profundidad de 30 cm, según recomienda Van der Putten *et al.* (2009), aunque se esperaba que las raíces del cultivo alcanzaran 60 cm de profundidad durante el tiempo de ejecución del estudio, de acuerdo con lo reportado por Rajaona *et al.* (2010).

En la tabla mostrada a continuación, se presentan las propiedades tenidas en cuenta para el análisis del suelo, con su respectiva metodología.

Tabla 7. Propiedades del suelo cuantificadas.

Tipo de Propiedad	Propiedad	Método
Físicas	Textura	Bouyoucos.
	Densidad aparente	Terrón Parafinado.
Químicas	pH	Potenciómetro
	Potasio	A.A. Llama.
	Fósforo disponible	Bray II.
Biológicas	Materia Orgánica	Walkley y Black

*Fuente: IGAC (2006).

6.3.2. Cálculo de dosis de fertilizante.

Teniendo en cuenta los resultados del análisis de suelo, mostrados en la Tabla 13, se calculó la cantidad de nutrientes disponible, aplicando la metodología sugerida por Bello y Pino (2000).

Los fertilizantes son necesarios para proveer a los cultivos con los nutrientes que están faltando en el suelo (FAO e IFA, 2002). Jongscaap *et al.* (2007) reportan, para el caso específico del cultivo de *Jatropha*, se debe suplir como mínimo 34.3 kg de Nitrógeno, 7 kg de Fósforo, y 31.6kg de Potasio, por cada hectárea sembrada. Teniendo esta información se llevó a cabo el balance de nutrientes.

Tabla 8. Balance de nutrientes en el suelo.

Nutriente	Disponible (%)	Disponible (Kg/ha)	Consumo (Kg/ha)	Requerido/ ha (kg)	Requerido/ planta (g)
N	0.00168	0.069	34.3	34.2	13.69
P	0.00323	0.132	7.0	6.9	2.75
K	0.00289	1.179	31.6	30.4	12.64

Para el cálculo de la cantidad de fertilizante que se debía aplicar, se tuvo en cuenta el balance de nutrientes de la Tabla 8, el contenido de nutrientes de los fertilizantes empleados, y la respectiva cantidad de nutrientes que cada uno de dichos fertilizantes puede aportar al cultivo.

Tanto para el Lombricompost como para la Gallinaza, se estimó la dosis de acuerdo a la mineralización o aporte de Nitrógeno y Fósforo, y a la cantidad inmediatamente disponible de Potasio. El Nitrógeno y Fósforo son constituyentes de compuestos orgánicos y requieren mineralización para ser usados por las plantas, mientras el Potasio se encuentra en la parte líquida, en forma soluble o fácilmente mineralizable (Porta *et al.*, 2003).

Se consideró una tasa de mineralización del 40% para el nitrógeno, de acuerdo a lo reportado por Salazar *et al.* (2003) para fertilización con materiales de tipo orgánico. Para el caso del fósforo se asumió una tasa de mineralización del 50%, esto de acuerdo a los resultados reportados por Semmartin (2006), mientras que para el potasio se tuvo en cuenta un disponibilidad de 85%, de acuerdo a la información suministrada por Vogtmann *et al.* (1993), citados por Erchart y Hartl (2010). Las cantidades requeridas de Lombricompost y Gallinaza en función de cada nutriente, y las dosis empleadas se muestran en las tablas 9 y 10, respectivamente.

Tabla 9. Dosis de Lombricompost.

Nutriente	Contenido (%)	Dosis/ planta (g)	Dosis/ ha (Ton)
N	0.58	5902*	14.75*
P	2.63	209	0.52
K	1.48	907	2.42

Tabla 10. Dosis de gallinaza.

Nutriente	Contenido (%)	Dosis/ planta (g)	Dosis/ ha (Ton)
N	1.5	2282*	5.71*
P	3.9	141	0.35
K	3	477	1.19

*Dosis empleada.

Para el caso de los fertilizantes minerales, la cantidad a aplicar se obtuvo empleando la eficiencia de fertilización reportada para cada nutriente. Se asumió una eficiencia del 50% para el nitrógeno, atendiendo a los reportes de Verheye (2005), citado por Andreu *et al.* (2006). La cantidad de fósforo requerida se calculó considerando un valor de eficiencia del 33%, según reporta Cevipapa (2005). Por último, para el potasio se estimó la cantidad necesaria empleando una eficiencia del 65%, valor reportado por Bello y Pino (2000). La tabla 11 muestra las cantidades requeridas de cada producto, y la dosis utilizada.

Tabla 11. Dosis de fertilizante mineral.

Nutriente	Contenido (%)	Dosis/ planta (g)	Dosis (Kg/ ha)
N	46	60*	148.8*
P	39	21	53.4
K	52	36*	90*

*Dosis empleada.

6.3.3. Adecuación de terreno.

Previo a la siembra de las plántulas en el terreno se llevaron a cabo labores de labranza, para lo cual se empleó la maquinaria disponible en la Sección de Servicios Varios de la Universidad del Valle. El suelo fue roturado hasta una profundidad aproximada de 25 cm empleando un Arado de 5 discos de 26 in (con enganche a tres puntos).

6.3.4. Siembra.

La siembra se llevó a cabo en el mes de de Octubre de 2014, momento en el que las plántulas tenían alrededor de cuatro meses de edad (ver figura 7). Las plántulas fueron adquiridas comercialmente, germinadas a partir de semillas. Para llevar a cabo el trasplante se cavaron hoyos de aproximadamente 30 cm de diámetro y 45 cm de profundidad, siguiendo las indicaciones de Van der Putten *et al.*(2010).



Figura 7. Siembra en terreno de plántula de Jatropha.

6.3.5. Aplicación de fertilizantes.

Los fertilizantes fueron aplicados un mes después de la siembra en terreno de las plántulas de Jatropha, en Noviembre de 2014, momento a partir del cual se inició con la medición de las variables de respuesta. Una vez sembrada las plantas se recomienda fertilizar después de 1 a 2 meses de crecimiento. La fertilización puede hacerse de manera uniforme e incorporada en el suelo en un diámetro de 50 centímetros alrededor de la planta (Van der Putten *et al.*, 2009).

Para el caso de los fertilizantes orgánicos (Lombricompost y Gallinaza), se excavó una zanja, alrededor de la planta, con una profundidad aproximada de 30 cm, en la cual se distribuyó uniformemente la cantidad necesaria de cada uno de los productos mencionados (ver figura 8). De igual forma, se aprovechó la zanja para la aplicación de las micorrizas, permitiendo que éstas hicieran contacto con las raíces de las plántulas. La dosis utilizada

fue de 50 g por planta. Se emplearon los géneros *Glomus sp*, *Entrophospora sp* y *Scutellospora sp*, pertenecientes a las micorrizas arbusculares según Aguilera *et al.* (2007).



Figura 8. Aplicación de abonos orgánicos.

El acondicionador líquido para suelos, fue aplicado vía foliar, aplicando una dosis equivalente 30 litros por hectárea, disuelto en agua en relación 1:25, siguiendo las recomendaciones de de Fundases (2009), citado por Vergara (2010). El propósito de la aplicación del Acondicionador líquido para suelos en forma foliar, fue aprovechar el contenido de micronutrientes. La aplicación de éste producto se llevó a cabo con una frecuencia mensual. La aplicación foliar es el método más eficiente de suministro de micronutrientes que son necesarios solamente en pequeñas cantidades y pueden llegar a ser indisponibles si son aplicados en el suelo (FAO e IFA, 2002). El-Kader *et al.* (2102) demostraron que una concentración de 150 ppm a base de Zinc, Manganeso y Hierro induce un mejor desarrollo fisiológico en plántulas de *jatropha* de 60 días de edad. No obstante, no se reportan datos concretos de la dosis requerida por un cultivo de *jatropha* en su etapa adulta.

Por último, los productos correspondientes a la fertilización convencional, Urea y Agro-K[®], fueron disueltos en agua a razón de 20 gramos por litro agua, aplicados al cultivo en un radio de 50 cm desde el tallo de la planta (ver figura 9). La cantidad calculada para el Agro-K fue aplicada en su totalidad en una sola dosis, mientras que la Urea fue fraccionada en tres partes, aplicadas un mes después de siembra, 75 días después de siembra, y al inicio de la floración, en porcentajes de 20-40-40%, respectivamente, todo esto atendiendo a los reportes de García y Espinosa (2009).



Figura 9. Aplicación de fertilizante mineral disuelto en agua.

6.3.6. Riego.

El riego se realizó de forma manual (ver figura 10), no obstante, se calculó la dosis de riego empleando la metodología propuesta por Pizarro (1986). La información climatológica requerida para estimar la dosis de riego se extrajo de los registros empleados por Collazos (2007). Los valores de K_c de riego se asumieron iguales a los del Ricino (*Ricinus communis*), especie arbustiva perteneciente a la familia de las Euforbiáceas según Díaz *et al.* (2009), los cuales reportan Allen *et al.* (2006).



Figura 10. Riego manual de plántulas.

La Tabla 12 muestra la dosis de riego calculada para cada uno de los meses. Los cálculos correspondientes a las dosis de riego se encuentran en el Anexo F.

Tabla 12. Dosis de riego, por mes.

Mes	Dosis (Lt/día)
Octubre	2.75
Noviembre	2.67
Diciembre	2.80
Enero	3.42
Febrero	4.16
Marzo	5.42
Abril	2.86
Mayo	3.17

6.3.7. Control plagas y malezas.

Previo al trasplante al terreno, y durante los dos primeros meses posteriores, se utilizaron dos productos de tipo biológico, Biomel[®] evitar ataques de insectos, y Bacillus Subtilis[®] prevenir la presencia de hongos.

Para controlar la presencia de malezas se utilizó método de erradicación manual (ver figura 11), con una frecuencia quincenal en meses lluviosos, y una frecuencia mensual en los meses de poca precipitación.



Figura 11. Erradicación manual de malezas.

6.4. Análisis estadístico.

Los datos recolectados, para cada una de las variables de respuesta fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA), basado en el modelo estadístico mostrado a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + \lambda_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde,

Y_i = variable de respuesta observada en la especie vegetal ante la aplicación de la mezcla de productos orgánicos.

μ = efecto de la media general en la variable de respuesta.

λ_i = nivel del factor de la combinación de fertilizantes orgánicos.

β_j = Efecto del bloque.

ε_i = Componente de error aleatorio.

Con base a este modelo se puede realizar la prueba de hipótesis:

Hipótesis Nula (H_0): no se observa variación, tanto en la altura, diámetro, o producción de semillas, considerando todos los tratamientos:

$$H_0 = \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 \dots = \lambda_i = 0$$

Hipótesis alterna (H_a): Se observa variación, bien sea en la altura, el diámetro, o producción de semillas, entre los diferentes tratamientos:

$$H_a = \lambda_i \neq 0, \text{ para cualquier } i.$$

Donde λ_i = representa el nivel de factor asociado a la fertilización.

El análisis de varianza de los datos recolectados se llevó a cabo por medio del paquete de software estadístico Minitab®, complementado con el software InfoStat®. Para todos los procedimientos estadísticos se asumió una significancia (α) de 0.05 (5%). Por lo general se utilizan valores de $\alpha = 0.05$ ó 0.01 , dependiendo del riesgo que se quiera admitir en la conclusión. Mientras más pequeño es valor de α se requiere más evidencia en los datos para rechazar H_0 (Gutierrez y De la Vara, 2008).

El análisis de varianza de las variables Diámetro y Altura se llevó a cabo mediante métodos de estadística paramétrica, puesto que presentaban una distribución normal, y se cumplieron con los supuestos del modelo. En cambio para la variable Rendimiento fue necesario emplear la prueba de Friedman, método de análisis correspondiente a la estadística no paramétrica. No se utilizaron pruebas de Post-Anova, puesto no encontró significancia estadística, para las tres variables de respuesta del estudio.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

7.1. Análisis del Suelo.

La Tabla 13 resume los resultados de las propiedades del suelo que fueron evaluadas con anterioridad al establecimiento en campo del cultivo, mientras en la Tabla 14 se muestra la caracterización del suelo en el que desarrolló el experimento.

Tabla 13. Resultados de Análisis del Suelo.

Tipo de Propiedad	Propiedad	Resultado
Físicas	Textura	Franco Arcillo Arenosa
	Densidad aparente (g/cm ³)	1.36
Químicas	pH	6.96
	Potasio (ppm)	289.00
	Fósforo (ppm)	32.28
Biológicas	Materia Orgánica (%)	2.24

Tabla 14. Caracterización del suelo de parcela experimental, tomado de Arcila y López (2012).

Perfil No	V-149
Tipo de perfil	Modal.
Nombre del suelo y taxonomía	Arroyo. Udertic Haplustoll, Fina, isohipertermica.
Unidad cartográfica	Consociación Arroyo (AY).
Localización geográfica	
Departamento	Valle del Cauca.
Municipio	Santiago de Cali.
Sitio	Granja experimental, Universidad del Valle, sede Meléndez.
Coordenadas geográficas	3°22'32,3''N, 76°32'00,6''W.
Altitud	983 msnm.
Paisaje	Piedemonte.
Tipo de relieve	Abanico aluvial.
Forma del terreno	Cuerpo.
Material parental	Depósitos superficiales clásticos hidrogénicos (aluviones finos).
Clase de pendiente	Plana.
Grado de pendiente	0-3%.
Clima ambiental	Cálido, seco
Clima edáfico	Régimen de humedad ústico, régimen de temperatura isohipertérmico.
Drenaje	Interno lento, externo muy lento, natural moderado.
Nivel freático	No hay.
Frecuencia y duración de las inundaciones	No hay.
Profundidad efectiva	Moderadamente profunda a profunda.
Limitante	Nivel Freático.
Vegetación natural	Destruída.
Uso actual de la tierra	Agricultura.
Horizontes diagnósticos	Epipedónmólico, Epipedóncámbico.
Características diagnósticas	Cambio textural abrupto y régimen de humedad ústico.
Descrito por	Miguel Aponte.
Observaciones	Escombros a lo largo de todo el perfil.
Describió	IGAC, Martha Constanza Daza.

De acuerdo Cortés y Malagón (1984), citados por Jaramillo (2002), utilizando el valor de densidad aparente obtenido, junto con la clase textural, es pertinente deducir que el suelo utilizado para el estudio no presenta problemas de compactación.

Respecto a la textura se puede decir también que es moderadamente conveniente para el cultivo de *Jatropha*. Los mejores suelos para la *Jatropha* son los arenosos y los francos (Gour, 2006, citado por Brittain y Litaladio, 2010). Estudios como el realizado por Arcila y López (2012) revelan una textura predominantemente arcillosa para éste suelo, lo cual difiere de los resultados actuales.

Van der Putten *et al.* (2009) recomiendan cultivar *Jatropha* en suelos cuya profundidad sea de al menos 45 centímetros. Arcila y López (2012) reportan una profundidad efectiva que puede exceder los 90 cm, en cuyo perfil predominan los colores Pardo-Amarillento. Usando como referencia la coloración se puede deducir que el suelo utilizado para el estudio no presenta problemas de drenaje. El suelo saturado de agua por mucho tiempo presentará color gris originado por el hierro reducido, también por decoloración por pérdidas de hierro y manganeso soluble en esas condiciones. Al exponer ese suelo al aire, permanecerá gris. En suelos aireados el hierro se oxida y le confiere al mismo, colores rojizo, pardo-rojizo o pardo (Zérega, 2012). No obstante el suelo presenta escombros y materiales extraños, cuya presencia se debe a intervenciones antrópicas recientes.

El suelo estudiado presenta un pH neutro, aunque según ICA (1992), el rango adecuado para el crecimiento de la mayoría de los cultivos se encuentra entre 6.0 y 6.5. Para el caso específico del cultivo de *Jatropha* se dispone de un valor de pH dentro del rango óptimo, entre 6.0 y 8.0, según reporta Irrueta (2012).

El potasio presenta un nivel de disponibilidad alto, según Cuesta *et al.* (2005), lo cual es conveniente para el establecimiento del cultivo de *Jatropha*, puesto que la ausencia de este elemento es un factor limitante en la producción del cultivo. Barros *et al.* (2009), reportaron una reducción del 95% en la cantidad de materia seca producida por un cultivo de *Jatropha*, de 120 días después de siembra en terreno, ante la ausencia de potasio, cuyos síntomas de deficiencia se manifestaron desde los 60 días posteriores al trasplante.

El fósforo presenta un grado medio de disponibilidad de acuerdo a Cuesta *et al.* (2005). Según Navarro y Navarro (2003), el pH del suelo empleado para el estudio se presta para una disponibilidad alta del fósforo. Albéniz (2011), realizó un análisis de las interacciones entre los niveles nutricionales del suelo y los niveles nutricionales de los órganos de las plantas de *jatropha*, hallando una correlación positiva con el contenido de fósforo en el tronco, ramas, peciolas y hojas. En cuanto a la relación del fósforo y el establecimiento de las micorrizas, es pertinente deducir que se tiene una cantidad de fósforo moderadamente adecuada para el desarrollo de éstas. Por lo general, bajos contenidos de fósforo en el suelo favorecen el establecimiento de la simbiosis micorrizica incrementando la colonización de las raíces de las plantas y favoreciendo la reproducción de las esporas; por el contrario, un alto contenido de fósforo en el suelo incide en la disminución de la simbiosis en las raíces de las plantas (Barea, 2001, citado por, Toro *et al.*, 2008)

La materia orgánica presenta un grado medio de disponibilidad, considerando al suelo utilizado para el estudio como un suelo de clima cálido, de acuerdo a los criterios de clasificación del ICA (1992). Se ha demostrado en una serie de ensayos que la *Jatropha* responde positivamente a un alto nivel de materia orgánica, por lo que se recomienda el uso de fertilizantes orgánicos (Van der Putten *et al.*, 2009). Ya que el nitrógeno se determina a partir de la materia orgánica, se puede afirmar que éste elemento también se encuentra en un rango medio, lo cual, al igual que ocurre con el fósforo, es medianamente favorable para la proliferación de las micorrizas. Los altos niveles de nitrógeno en el suelo tienen efectos negativos sobre el desarrollo de las micorrizas arbusculares y la estimulación del crecimiento en las plantas (Pérez *et al.*, 2011).

7.2. Seguimiento al comportamiento del cultivo de *Jatropha*.

7.2.1. Crecimiento del cultivo.

En términos generales, considerando las variables de diámetro y altura, se observa un ritmo de crecimiento mayor en los meses correspondientes al periodo lluvioso (entre Marzo y Abril). Heller (1996) afirma que el desarrollo vegetativo de la *Jatropha* ocurre principalmente en la época lluviosa, mientras en las épocas secas el desarrollo tiende a ser poco (ver tabla 15, figura 12). De acuerdo a los datos obtenidos, la tasa de crecimiento durante el primer mes es pequeña, siendo más notoria en la variable Diámetro de tallo.

Sukarin *et al.* (1987), citados por Heller (1996), reportan un valor de altura promedio de 1 m para un cultivo de *Jatropha* al quinto mes después del trasplante, el cual se aproxima bastante a los resultados obtenidos, puesto que para el quinto mes, posterior al trasplante, el cultivo presentaba un altura promedio de 98 cm. Albéniz (2011), reporta una altura máxima de 2.12 m para un cultivo de *Jatropha* al año de trasplante en terreno, valor que es casi igualado por los máximos registros correspondientes al mes de Mayo.

Tabla 15. Resumen de registro mensual de Diámetro de tallo y Altura de las plantas.

Mes	Diámetro (cm)		Altura (cm)	
	Promedio (cm)	Aumento (cm)	Promedio (cm)	Aumento (cm)
Noviembre	2.70	-	56.33	-
Diciembre	2.73	0.03	64.74	8.41
Enero	3.25	0.52	70.45	5.70
Febrero	3.49	0.24	78.56	8.11
Marzo	4.14	0.65	98.04	19.49
Abril	4.99	0.85	129.66	31.61
Mayo	5.26	0.27	147.26	17.60

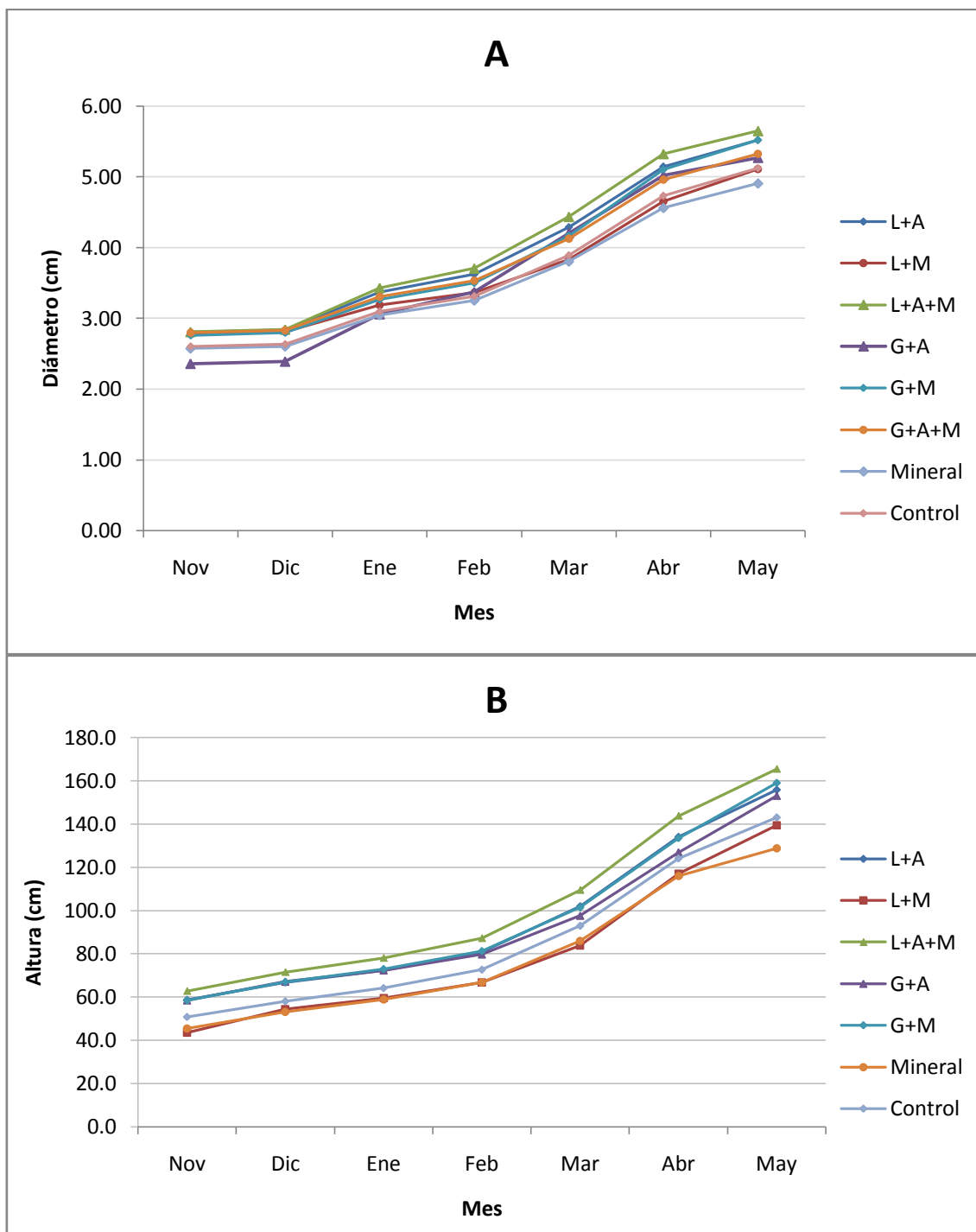


Figura 12. Crecimiento del cultivo en función del tiempo. A: Diámetro de tallo. B: Altura de las Plantas.

Se puede descartar que la semilla utilizada en el estudio corresponde a la categoría de porte bajo, propuesta por Guerrero *et al.*(2011), puesto que presenta una altura promedio superior a 95 cm. De acuerdo a la información publicada por éstos autores, la mayoría de las accesiones de *Jatropha* en Colombia pertenecen a la categoría de porte alto, alcanzando una altura en el rango de 1.7 m a 2.6 m un año después de trasplante, hallando un valor promedio de 2.05 m.

7.2.2. Floración del Cultivo.

De acuerdo a Guerrero (2012), en Colombia se ha encontrado que la floración comienza aproximadamente entre 240 y 347 días después del trasplante al terreno definitivo. No obstante en este caso el tiempo de floración fue mucho menor, presentando un valor promedio de 133 días después de trasplante (ver Anexo D).

La proporción promedio de flores masculinas a las femeninas fue 14:1. Henning (2009), quien afirma que por lo general las flores femeninas son de mayor tamaño que las masculinas, aunque no se distinguen claramente hasta que se abren, las cuales se presentan en proporción 29:1 (masculinas: femeninas). La figura 13 muestra la etapa inicial de la floración y la etapa previa a la polinización.



Figura 13. Inflorescencias de Jatropha. A: Brote de Inflorescencia (7-10 días). B: Flores Abiertas (18-21 días).

7.2.3. Producción de frutos.

En promedio, los frutos iniciaron su desarrollo 31 días posteriores al inicio de la floración, mientras el tiempo promedio para la cosecha del fruto fue de 42 días adicionales, obteniendo un tiempo promedio, para la formación y cosecha del fruto de 73 días, inferior al tiempo de 90 días reportado por autores como Alfonso (2008), y Brittain y Litaladio (2010). En la figura 14 se presenta la evolución en el tiempo del fruto de Jatropha.

El valor promedio del rendimiento obtenido es de 247.5 Kg de fruta por hectárea, en un periodo de 7 meses. Garay *et al.*(2012) afirman que la primera cosecha ocurre desde el primer año, inicialmente pequeña, y va aumentando luego de sucesivas cosechas hasta estabilizarse entre el quinto y el sexto año. En estudios realizados por Montenegro *et al.*(2014) obtuvieron una producción mínima equivalente a 4571 Kg de fruto por hectárea, en un periodo de 18 meses, cuya cosecha inició a partir del séptimo mes. No obstante, autores como Openshaw (2000) afirman que es difícil fijar un valor de producción de fruto maduro por hectárea, puesto que se reporta un rango muy amplio de producción que va desde 0.4 hasta 1.2 toneladas por hectárea.

Se obtuvieron frutos con peso promedio de 11.4 g, el cual se puede asumir como un valor aceptable. Guerrero *et al.*(2011) afirman que el peso promedio por fruto para accesiones de Jatropha curcas del territorio colombiano es de 7.828 g.

Respecto al peso promedio de semillas (0.79 g), se obtuvo un valor dentro del rango reportado por Henning (2009), que va desde 0.542 hasta 0.878 g, el cual incluye plantas de *Jatropha* establecidas en África (Tanzania y Malí) y Centro América (Nicaragua y Belice).



Figura 14. Etapas del fruto de *Jatropha*. A: 7-10 días. B: 25 - 30 días. C: 40 - 45 días. D: fruto seco.

7.2.4. Plagas Detectadas.

Popularmente se cree que la *Jatropha* es inmune a las plagas y las enfermedades, lo cual ha generado pérdidas económicas en distintos proyectos (Achten *et al.*, 2008).



Figura 15. Daños causados por hormigas.

Durante el estudio realizado sólo se detectó daño parcial causado por hormigas del género *Atta* (ver figura 15), popularmente conocidas como “Arrireras”. Alfonso (2008) indica daños al follaje de plantas de *Jatropha* ocasionados por hormigas *Atta sp.*, problemática que se manifiesta en mayor magnitud en épocas de verano.

Durante el seguimiento no se logró identificar problemas asociados a virus y/o enfermedades.

7.3. Evaluación del efecto de tratamientos (Análisis Estadístico).

Varios especímenes de *Jatropha* fueron descartados, debido a que sufrieron daños mecánicos, causados por agentes externos, por tanto el diseño experimental original sufrió modificaciones, reflejadas en el número de repeticiones de algunos tratamientos (ver Anexo C, Anexo D). El proceso de análisis estadístico se complementa con la información presentada en el Anexo G.

7.3.1. Diámetro de Tallo.

La figura 16 muestra un aumento de diámetro máximo en los tratamientos Lombricompost mezclado con acondicionador de suelos y Micorriza (L+A+M), y el tratamiento de Gallinaza con acondicionador de suelos (G+A). No obstante se requiere verificar si existe diferencia estadística.

Al realizar el análisis de datos recolectados en campo se observó que éstos se ajustaban a una distribución normal. A continuación se muestra el análisis de varianza obtenido mediante el software Minitab®.

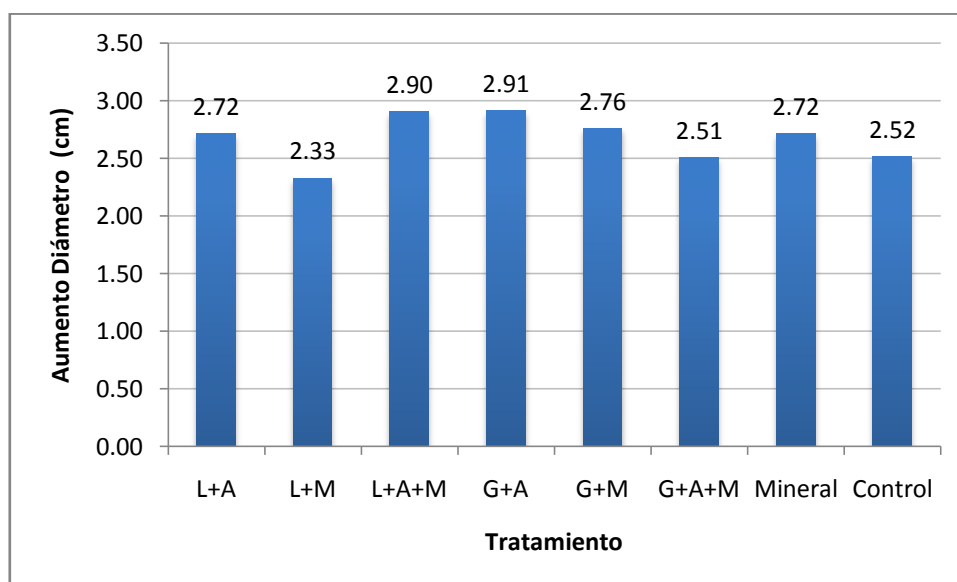


Figura 16.Efecto de los tratamientos sobre el diámetro de las plantas.

Fuente	GL	SC	Sec.	MC	sec.	Valor F	Valor p
Tratamiento	7	2,3152	0,3307	1,22	0,302		
Bloque	2	0,6461	0,3231	1,19	0,309		
Error	75	20,3006	0,2707				
Total	84	23,2619					

El valor p de la prueba es muy superior a la significancia (0.05), por tanto no se puede rechazar la hipótesis nula para la variable de respuesta Diámetro de tallo.

Se tiene coincidencia con los reportes de Vergara (2010), quien no halló diferencia estadísticamente significativa producida por la aplicación de combinaciones de fertilizantes orgánicos sobre la variable de respuesta diámetro basal del tallo, en un cultivo de Achiote.

No obstante para el caso específico de la *Jatropha*, Behera *et al.* (2009), reportan diferencias en el aumento del diámetro de tallo, producidas por la aplicación de distintos tratamientos de fertilización orgánica, seleccionando al tratamiento de aplicación de micorriza arbuscular como el más efectivo. Resultados similares reportan Díaz *et al.* (2013) afirmando que mediante la fertilización con compost proveniente de residuos de caña se obtuvo la mayor incidencia en el diámetro del tallo, en un cultivo de *jatropha*, un año después de siembra en terreno, mientras que para el final del estudio, 26 meses después de siembra, el mayor efecto sobre el diámetro de las plantas lo produjo la fertilización con micorriza arbuscular del género *Glomus*.

7.3.2. Altura de la planta.

En general el aumento en la altura de las plantas es superior a 90 cm (ver figura 17), presentando valores superiores a 1 metro en los tratamientos Lombricompost mezclado con acondicionador de suelos y micorriza (L+A+M) y Gallinaza con micorriza (G+M).

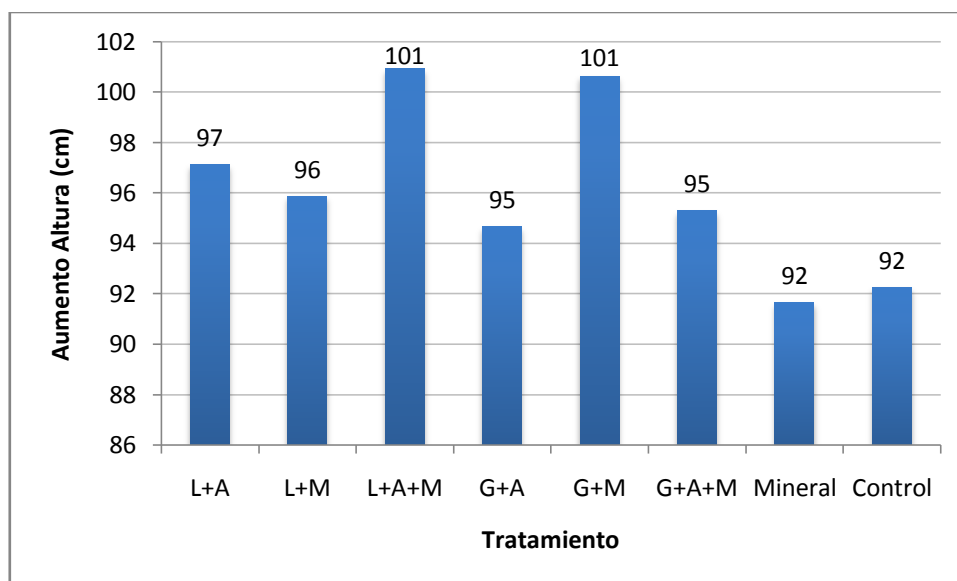


Figura 17. Efecto de los tratamientos sobre la altura de las plantas.

Al igual que ocurrió con la variable Diámetro de tallo, los datos correspondientes a la variable Altura de las plantas presentó una distribución Normal .A continuación se muestra el análisis de varianza obtenido mediante el software Minitab®.

Fuente	GL	SC	Sec.	MC sec.	Valor F	Valor p
Tratamiento	7	1429,4		204,19	0,70	0,672
Bloque	2	149,4		74,71	0,26	0,775
Error	75	21876,1		291,68		
Total	84	23454,9				

Nuevamente se obtiene un valor p superior a la significancia (0.05), por tanto no se puede rechazar la hipótesis nula para la variable de respuesta Altura de la planta.

Vergara (2010), al igual que con la variable Diámetro de Tallo, reporta insignificancia estadística para el efecto de distintos tratamientos de abonos orgánicos, sobre la variable de respuesta altura de las plantas en un cultivo de achiote. En cambio, Corrales (2000) reporta un aumento significativo en la altura de plántulas de guayaba durante la fase de vivero generado por la aplicación de Gallinaza, observando además una relación directamente proporcional entre dicho aumento y la dosis aplicada.

7.3.3. Rendimiento.

Se esperaba obtener un rendimiento máximo en el tratamiento de fertilización mineral, no obstante los máximos rendimientos se obtuvieron en los tratamientos de fertilización con Lombricompost más acondicionador para suelos y micorrizas, seguido por la combinación de Gallinaza y micorriza (ver figura 18).

Se observa otra contradicción a los resultados esperados, pues varias combinaciones presentaron un rendimiento menor al tratamiento control. Montenegro *et al.*(2014) reportan rendimientos de un cultivo de *Jatropha* en un tratamiento control, mayores a los obtenidos mediante tratamientos de fertilización con 120 Kh/ha de Potasio, atribuyendo lo ocurrido a los bajos niveles de nitrógeno en el suelo.

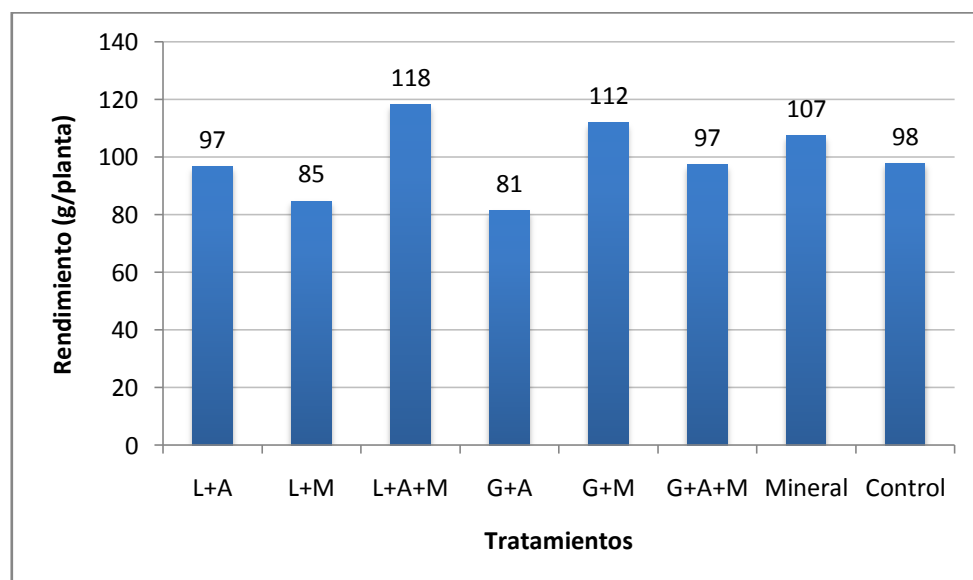


Figura 18. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento del cultivo.

Inicialmente se observa que los datos presentan un comportamiento que no se ajusta a la distribución Normal, por lo que se debe recurrir a la estadística no paramétrica para realizar el análisis de varianza (ver Anexo G). Este comportamiento coincide con los datos de rendimiento obtenidos por Rosero (2013) en un cultivo de maíz al cual le fueron aplicados fertilizantes tipo orgánicos, tipo mineral y mezclas entre éstos.

A continuación se muestra el resumen de la prueba de Friedman, realizada mediante el software InfoStat®.

1	2	3	4	5	6	7	8	T*	p
3.67	3.33	6.33	3.33	5.00	4.67	5.00	4.67	0.42	0.8721

Minima diferencia significativa entre suma de rangos = 14.319

Tratamiento	Suma(Ranks)	Media(Ranks)	n
4	10.00	3.33	3 A
2	10.00	3.33	3 A
1	11.00	3.67	3 A
8	14.00	4.67	3 A
6	14.00	4.67	3 A
7	15.00	5.00	3 A
5	15.00	5.00	3 A
3	19.00	6.33	3 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.050$)

La prueba de Friedman arroja un valor p que excede a la significancia (0.05), por tanto, no se logra detectar diferencia estadística en la variable de respuesta Rendimiento.

Lo anterior no coincide en primera instancia con resultados como los obtenidos por Corrales (2000), quien tras un año de observaciones halló diferencias significativas con respecto al tratamiento control (sin fertilizante) comparado con el tratamiento de fertilización con gallinaza, aplicado en campo a un cultivo de guayaba, aunque afirma no encontrar diferencias significativas entre las distintas combinaciones de fertilizantes, entre los cuales aparte de la Gallinaza se emplearon fertilizantes minerales como Nitrato de amonio, superfosfato triple, y Cloruro de potasio.

Peralta (2013) reporta la fertilización con gallinaza como el tratamiento más sobresaliente en el rendimiento de un cultivo de mango, tras realizar seguimiento por 3 años, tratamiento que supera incluso a otros en los que se emplearon fertilizantes como urea y cloruro de potasio.

8. CONCLUSIONES.

- Se determinó que al no implementar prácticas de poda, es posible que el cultivo de *Jatropha* inicie el proceso de floración 133 días después de trasplante al terreno, el cual es un plazo bastante corto.
- Se comprobó que al no implementar poda, es posible obtener cosechas de frutos de *Jatropha* durante el primer año de establecimiento del cultivo, con el inicio de la formación de los frutos en un tiempo de 164 días después de siembra, los cuales pueden cosecharse en un tiempo aproximado 206 días después de trasplante.
- Se demostró que a pesar de su toxicidad, la *Jatropha* es propensa al ataque de plagas, específicamente a hormigas del género *Atta*.
- No se detectó diferencia estadística generada por los tratamientos en la variable de respuesta Diámetro de Tallo, aunque los valores más favorables se obtuvieron en la combinación de Lombricompost con acondicionador líquido para suelos y micorrizas, seguido por la mezcla de Gallinaza y acondicionador líquido para suelos.
- No se logró detectar diferencia estadística en la variable de respuesta Altura de Planta, ante la aplicación de los distintos tratamientos de fertilización, aunque los mejores resultados se muestran a favor de la mezcla de Lombricompost con acondicionador líquido para suelos y micorrizas, seguido por el tratamiento de Gallinaza con micorriza.
- De acuerdo a los resultados, no se obtienen diferencias estadísticas en el rendimiento de la *Jatropha* en su primera cosecha, ante la aplicación de fertilizantes bien sea de tipo mineral o tipo orgánico, resaltando además que los tratamientos de Lombricompost mezclado con acondicionador líquido para suelos y micorrizas, y Gallinaza con micorriza presentaron los mayores rendimientos.

9. RECOMENDACIONES.

- Evaluar la evolución y el rendimiento de cultivos de *Jatropha curcas* establecidos sobre suelos de baja fertilidad, o degradados por actividades como la minería o el monocultivo.
- Evaluar el rendimiento de *Jatropha curcas* producido por la aplicación de tratamientos de fertilización en los que se combinen fertilizantes de tipo mineral con fertilizantes/enmiendas orgánicas.
- Comparar la cantidad de aceite obtenido a partir de semillas de *Jatropha* cosechadas desde plantas sometidas a distintos tratamientos de fertilización, en los que se involucren fertilizantes minerales, fertilizantes orgánicos, y mezclas entre estos.
- Hacer seguimiento al comportamiento de cultivos de *Jatropha curcas* durante el segundo año de establecimiento y posteriores, haciendo énfasis en cuantificar la producción de frutos.
- Evaluar los efectos de distintos tratamientos de poda sobre el rendimiento del cultivo de *Jatropha*, puesto que se trata de una práctica que influye en gran medida sobre la producción, pero sobre la cual aún no se tiene un conocimiento certero.
- Determinar el valor del coeficiente de riego (K_c) para el cultivo de *Jatropha*, puesto que ante una adecuada humedad del terreno se promueve la floración continua del cultivo, y por ende su producción fruto.
- Estudiar el comportamiento de cultivos de *Jatropha* en zonas en las que se reporte alta incidencia de plagas y patógenos sobre la producción agrícola.

10. BIBLIOGRAFÍA.

ACHTEN, W; VERCHOT, L; FRANKEN, Y; MATHIJS, E; SINGH, V; AERTS, R; MUYS, B. 2008. *Jatropha* bio-diesel production and use. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 32. 1063–1084p.

AGUILERA, L; OLALDE, V; ARRIAGA, M; CONTRERAS, R. 2007. Micorrizas arbusculares. *Ciencia Ergo Sum*, Vol. 14 (3). 300 – 306p.

ALBÉNIZ, J. 2011. Desarrollo de *Jatropha curcas* según los nutrientes del suelo. Trabajo de Fin de Carrera – Universidad Pública de Navarra. Pamplona, España. 25 – 40p.

ALLEN, R; PEREIRA, L; RAES, D, SMITH, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de cultivos. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). Roma, Italia. 50 -298p.

ALTIERI, M. 1999. La Agricultura Moderna: Impactos Ecológicos y la Posibilidad de una Verdadera Agricultura sustentable. University of California: Berkeley. 2-15p.

ANDREU, J; BELTRÁN, J; DELGADO, I; ESPADA, J; GIL, M; GUTIÉRREZ, M; IGUÁCEL, F, ISLA, R; MUÑOZ, F; ORÚS, F; PÉREZ, M; QUÍLEZ, D; SIN, E; YAGÜE, M. 2006. Gobierno de Aragón, Departamento de Agricultura y Alimentación. Fertilización Nitrogenada, Guía de actualización. Disponible en: http://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/868/1/10532-105_11.pdf
Fecha de consulta: 10 de Septiembre de 2013.

ARCILA, G; LÓPEZ, J. 2012. Inoculación con endomicorriza de los géneros *Glomus spp.*, *Acaulospora spp.* y *Entrophospora spp.*, en caña de azúcar cc-8592 para reducir la lámina de riego aplicada de acuerdo al balance hídrico. Tesis de Grado, Universidad del Valle. Cali, Colombia. 38 – 60p.

AZCON, J; TALÓN, M. 2000. Fundamentos de Fisiología Vegetal. McGraw-Hill Interamericana: Madrid. 83- 98p.

BARROS, E; PATENTE, L; SANTOS, S; DE RESENDE, P. 2009. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-mansão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Vol. 44 (4). 392 – 397p.

BEHERA, S; SRIVATSAVA, P; TRIPATHI, R; SINGH, J; SINGH, M. 2009. Evaluation of plant performance of *Jatropha curcas* L. under different agro-practices for optimizing biomass – A case study. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 34. 30 - 41p.

BELLO, M; PINO, M. 2000. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 26: Cálculos básicos para fertirregar. Disponible en: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR25633.pdf>
Fecha de consulta: Enero 21 de 2014.

BRITTAINE, R; LUTALADIO, N. 2010. *Jatropha: A Smallholder Bioenergy Crop, The Potential for Pro-Poor Development*. Integrated Crop Management, Vol. 8. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Roma. 4 - 52p.

CAMPOS, R. 2012. *Manual de suelos: Guías de laboratorio y campo*. Universidad de La Salle: Bogotá D.C. 13 – 70p.

CARDONA, C. 2009. Perspectivas de la producción de biocombustibles en Colombia: contextos latinoamericano y mundial. *Revista de Ingeniería: Universidad de los Andes*. Vol. 29. 109 – 120p.

CENTRO VIRTUAL DE INVESTIGACIÓN DE LA CADENA AGROALIMENTARIA DE LA PAPA (CEVIPAPA). 2005. *Memorias: I Taller Nacional sobre suelos, fisiología y nutrición vegetal en cultivo de la papa*. Disponible en:

<http://corpomail.corpoica.org.co/BACFILES/BACDIGITAL/44470/44470.pdf#page=42>
Fecha de consulta: Septiembre 7 de 2013.

COLLAZOS, L. 2007. *Diseño de un sistema piloto de riego localizado de alta frecuencia – RLAF- en la Universidad del Valle*. Tesis de Grado, Universidad del Valle. Cali, Colombia. 25- 69 p.

CONIDAZA, C. 1998. *Agricultura sostenible*. Ministerio de Agricultura: Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (PRONATTA): Bogotá. 9 -13p.

CORRALES, I. 2000. *Tecnología para la fertilización con gallinaza y fertilizante mineral en el guayabo (Psidium guajaba L.)*. Tesis de Grado, Universidad de Camaguey. Camaguey, Cuba. 15 – 35p.

CORTES, R; MORENO, D; POVEDA, A. 2012. Análisis del impacto de la política de biocombustibles en la producción del aceite de palma y la estabilización del precio interno en Colombia. *Revista Civilizar: Universidad Sergio Arboleda*. 81- 97p.

CRUZ, F. 2011. *Breve reseña de la evolución de la agricultura orgánica en Colombia*. Organic Eprints. Disponible en:

http://orgprints.org/18245/1/CRUZ_2011_RESENA_.pdf
Fecha de consulta: Junio 2 de 2014.

CUESTA, P; MATEUS, H; BARROS, J; CONTRERAS, A; JIMÉNEZ, N; VILLANEDA, E; RINCÓN, A; VANEGAS, M; RODRÍGUEZ, G; CARRERA, G; CAJAS, S; MARTÍNEZ, J; SÁNCHEZ, C. 2005. *Producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las regiones Caribe y Valles Interandinos*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). Bogotá D.C. 5 – 96.

DE LA ROSA, D. 2008. *Evaluación Agroecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible*. Ediciones Mundi Prensa: Madrid. 81 - 404p.

DELGADO, R. 2008. *Probabilidad y Estadística para Ciencias e Ingenierías (Primera Edición)*. Delta, Publicaciones Universitarias: Madrid. 268-315p.

DÍAZ, B; AGUIRRE, J; DÍAZ, V. 2013. Rendimiento de *Jatropha Curcas* inoculado con micorrizas y aplicación de composta de caña. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Vol. 4(4). 599-610p.

DÍAZ, C; BRACHNA, D; HRYCYRISKI, E; SÁNCHEZ, C; LÓPEZ, W; HUMBERT, R; GARRO, O. 2009. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas: Caracterización del aceite de tártago para la obtención de Biodiesel. Disponible en: <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/investigacion/com2009/CE-062.pdf>
Fecha de consulta: 7 de febrero de 2014.

EL-KADER, A; HUSSEIN, M; ALVA, A. 2012. Response of *Jatropha* on a Clay Soil to Different Concentrations of Micronutrients. American Journal of Plant Sciences, Vol. 3. 1376 - 1381p.

ERCHART, E; HARTL, W. 2010. Sustainable Agricultura Reviews 4: Genetic Engineering, Biofertilization, Soil quality and Organic Farming. Springer Science: Dordrecht, Holanda. 311 – 413p.

ESPINAL, C; MARTINEZ, H; ESPINOZA, D. 2005. La Cadena de Cultivos ecológicos en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Documento de Trabajo N° 68. Bogotá D.C. 3 – 15p.

ESTRADA, M. 2005. Manejo y Procesamiento de la Gallinaza. Revista Lasallista de Investigación, Vol. 2 (1). 43 - 48p.

FLORES, J. 2014. Instituto de Restauración y Medio Ambiente. Agricultura Ecológica, Manual y Guía Didáctica. Disponible en: <http://www.fundesyram.info/biblioteca/displayFicha.php?fichaID=3948>.
Fecha de consulta: 12 de mayo de 2014.

FONDO PARA LA PROTECCIÓN DEL AGUA (FONAG). 2010. Abonos Orgánicos. Protegen el suelo y garantizan alimentación sana. Disponible en: http://www.fonag.org.ec/doc_pdf/abonos_organicos.pdf.
Fecha de consulta: 14 de abril de 2014.

FONT, F. 2003. Las especies del género *Jatropha L* (*Euphorbiaceae*, *Crotonoideae*) en Argentina. Revista del Círculo de Coleccionistas de Cactus y Crasas de la República Argentina, Vol 2 (1). 4-20p.

FUNEZ, E. 2009. Comparación de sustratos para la siembra de piñón (*Jatropha curcas*) en etapa de vivero, finca Santa Lucía, Choluteca, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras. 3 - 15p.

GALAZ, R; AVILEZ, R; UCAN, C; CHAN, J; LOYOLA, V. 2012. *Jatropha curcas* una alternativa para la obtención de biodiesel sin afectar al sector alimentario. Biotecnología, Vol. 16 (2). 94 – 114p.

GARAY, R; HIDALGO, E; ALEGRÍA, J; MENDIETA, O. 2012. Determinación de Periodos Fisiológicos en la Maduración y Calidad del Aceite de Piñón Blanco (*Jatropha curcas* L.). Información Tecnológica, Vol. 23(4). 53 – 64p.

GARCÍA, J; ESPINOSA, J. 2009. International Plant Nutrition Institute. Efecto del fraccionamiento de nitrógeno en la productividad y eficiencia agronómica de macronutrientes en maíz. Disponible en: [http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/40ad1ee26c802f005257a5300510c6d/\\$FILE/Fraccionamiento.pdf](http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/40ad1ee26c802f005257a5300510c6d/$FILE/Fraccionamiento.pdf). Fecha de consulta: Noviembre 24 de 2013.

GONZÁLEZ, A; GARCÍA, K; HERNÁNDEZ, M; TENIENTE, R; SOLÍS, J; ZAMARRIPA, A. 2011. Guía para cultivar Piñón Mexicano (*Jatropha curcas* L.) en Jalisco. Folleto Técnico Núm. 6. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, México. 18 – 43p.

GUERRA, B. 2007. Micorriza arbuscular, Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. Tecnología en marcha: Vol. 21. 191-201p.

GUERRERO, J; CAMPUZANO, L; ROJAS, S; PACHÓN, J. 2011. Caracterización Morfológica y Agronómica de la Colección Nacional de Germoplasma de *Jatropha curcas* L. Revista Orinoquia: Vol. 15 (2). 131 – 147p.

GUERRERO, J. 2012. Biología floral en *Jatropha curcas* L. Disponible en: http://www.ediciona.com/portafolio/document/0/2/2/3/estudios_con_base_en_la_floracion_de_jatropha_curcas_l_3220.pdf Fecha de consulta: Octubre 30 de 2014.

GUTIÉRREZ, H; DE LA VARA, R. 2008. Análisis y diseño de experimentos (2ª Edición). McGraw Hill Interamericana. México D.F., México. 18.- 545p.

HELLER, J. 1996. Physic Nut *Jatropha curcas* L. International Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research: Rome. 10 - 26p.

HENNING, R. 2009. The *Jatropha* Book. The *jatropha* System: An integrated approach of rural development. Disponible en: <http://betuco.be/agroforestry/Jatropha%20-%20integrated%20approach%20of%20rural%20development%205x.pdf> Fecha de consulta: Enero 30 de 2015.

HERNÁNDEZ, J; CRUZ, A. 1993. Boletín Informativo sobre el uso de subproductos: Gallinaza. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. 3 – 6p.

HIDALGO, N; TORRES, D. 2012. Optimización del proceso de cosecha y post cosecha del sembrado de *Jatropha curcas* L. para la obtención y disposición de la semilla y subproductos. Universidad ICESI: Santiago de Cali. 8 -57p.

HUSSEIN, M.M; THALTOOTH, A.T; TAWFIK, M.M; MOHAMED, H. 2012. Impact of mineral and organic fertilizer on vegetative growth of *Jatropha curcas* L. in sandy soil. Elixir Appl. Botany: Vol. 49. 9714 - 9717p.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). 1992. Fertilización en diversos cultivos, quinta aproximación. Produmedios. Bogotá D.C. 12 – 64p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). 2006. Métodos analíticos del Laboratorio de Suelos, 6a Edición. Editorial IGAC. Bogotá D.C. 170 – 215 p.

IRRUETA, H. 2012. Colegio de postgraduados, Institución de enseñanza en investigación en ciencias agrícolas. Potencial para producir *Jatropha curcas* L. como materia prima para biodiésel en el estado de Veracruz. Disponible en: http://www.biblio.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/1700/Inurreta_Aguirre_HDI_MC_Agroecosistemas_Tropicales_2012.pdf?sequence=1.
Fecha de Consulta: Noviembre 8 de 2014.

JACOMÉ, A. 2013. Fertilización orgánica e inorgánica en fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) En suelo Inceptisol con propiedades ándicas. Tesis de Grado, Universidad del Valle. Cali, Colombia. 11- 57p.

JARAMILLO, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional: Medellín. 40 -365p.

JARAMILLO, I. 2011. Universidad Autónoma Metropolitana. Departamento de Biología, División de CBS. La micorriza arbuscular (MA) centro de la rizosfera: comunidad microbológica dinámica del suelo. Disponible en: <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n44ne/asomic.pdf>.
Fecha de consulta: Marzo 3 de 2014.

JOERDENS, D. 2007. Piñón (*Jatropha curcas*). Agro Enfoque, Vol. 21. 24 – 26p.

JOKER, D; JEPSEN, J. 2003. Seed Leaflet. *Jatropha curcas*. Disponible en: http://curis.ku.dk/ws/files/20648145/jatropha_curcas_83.pdf.
Fecha de consulta: Agosto 25 de 2013.

JONGSCHAAP, R; CORRÉ, W, BINDRABAN, P; BRANDENBURG, W. 2007. Plant Research International B.V; Wageningen. Report 158: Claims and Facts on *Jatropha curcas* L. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/40104292_Claims_and_facts_on_Jatropha_curcas_L._global_Jatropha_curcas_evaluation._breeding_and_propagation_programme.
Fecha de consulta: Noviembre 7 de 2013.

KUEHL, R. 2001. Diseño de experimentos, principios estadísticos de diseño y análisis de investigación (2ª Edición). Thomson Learning. México D.F., México. 37 - 665p.

KUMAR, A; SHARMA, S. 2008. An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review. Industrial Crops and Products: Vol. 28 (1). 1- 10p.

KUMAR, G.P; YADAV, S; THAWALE, P; SINGH, S; JUWARKAR, A. 2008. Growth of *Jatropha curcas* on heavy metal contaminated soil amended with industrial wastes and *Azotobacter* – A greenhouse study. Biomass and Bioenergy. Vol. 99. 2078-2082p.

LAINE, J. 2008. Los biocombustibles y la alimentación humana. Revista Interciencia. Vol. 33. 71-73p.

LOPERA, L; SALGADO, D; VELASQUEZ, R. 2011. ¿Es posible la agricultura orgánica en marinilla?: Entre la capacidad de los recursos y la voluntad política, se hace camino. Semestre Económico: Vol. 14 (30). 135 – 152p.

LÓPEZ, R. 2002. Degradación del Suelo. Universidad de los Andes: Mérida, Venezuela. 2-17p.

MAHILUM, B. 2004. Soil science and concepts in tropical soils. Trop Ag Hawaii Inc: Hanaka, Hawaii, USA. 8 - 149p.

MARTÍNEZ, J. 2005. El Piñón, una planta nativa de México con potencial alimentario y agroindustrial. Disponible en:
<http://hypatia.morelos.gob.mx/No12/pinon.html>.
Consulta: 15 de mayo 2014.

MARTINEZ, L; BELLO, P; CASTELLANOS, O. 2012. Sostenibilidad y Desarrollo: el valor agregado de la Agricultura Orgánica. Universidad Nacional de Colombia: Bogotá D.C. 150 - 164p

MOHAPATRA, S; PANDA, K. 2011. Effects of fertilizer application on growth and yield of *Jatropha curcas* L. in *Aeric Tropaept* of eastern India. Notulae Scientia Biologicae: Vol 3. 95 – 100p.

MONTENEGRO, O; MAGNITSKIY, S; HENAO, M. 2014. Effect of nitrogen and potassium fertilization on the production and quality of oil in *Jatropha curcas* L. under the dry and warm climate conditions of Colombia. Agronomía Colombiana, Vol. 32(2). 255 – 265p.

MOSTACEDO, B; FRIEDRICKSEN, T. 2000. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Disponible en:
<http://www.bio-nica.info/biblioteca/Mostacedo2000EcologiaVegetal.pdf>
Fecha de consulta: 30 de enero de 2014.

NAVARRO, S; NAVARRO, G. 2003. Química Agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal (Segunda Edición). Ediciones Mundi Prensa. Madrid. 53 – 433p.

OPENSHAW, K. 2000. *Jatropha*: an oil plant of unfulfilled promise. Biomass and Bioenergy, Vol. 19. 1- 15p.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO); ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LOS FERTILIZANTES (IFA). 2002. Los fertilizantes y su uso. Cuarta edición. Roma. 5-87p.

OROZCO, M; THIENHAUS, S. 1997. Efecto de la gallinaza en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en desarrollo. Agronomía Mesoamericana: Vol. 8 (1). 81 – 92p.

QUIMBAYO, A. 2010. El uso actual del cultivo de *Jatropha curcas* en sistemas agroforestales y silvopastoriles y su potencial para contribuir al desarrollo social y económico de un cultivo en expansión. Corpoica: Villavicencio. 11- 32p.

PARKER, R. 2010. Plant and Soil Science: Fundamentals and Applications. Cengage Learning: Clifton Park, New York. 90 – 792p.

PERALTA, N. 2013. Respuesta de tres cultivares de mango (*Mangifera indica* L) a la aplicación de fertilizantes orgánicos. Tesis de Grado, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México. 18 – 107p.

PÉREZ, A; ROJAS, J; MONTES, V. 2011. Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el Caribe colombiano. Revista Colombiana de Ciencia Animal, Vol. 3(2). 366 – 385p.

PIZARRO, F. 1986. Riegos Localizados de alta frecuencia (2ª Edición). Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 141 – 471p.

PLASTER, E. 2000. La ciencia del suelo y su manejo. Editorial Paraninfo. Madrid. 147 – 256p.

PORTA, J; LOPEZ-ACEVEDO, M; ROQUERO, C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente (Tercera Edición). Ediciones Mundi Prensa. Madrid. 165-960p.

PORTA, J; LOPEZ-ACEVEDO, M; POCH, R. 2013. Edafología: Uso y protección de suelos (Tercera Edición). Ediciones Mundi Prensa. Madrid. 211 – 607p.

RAJAONA, A; BRUECK, H; ASCH, F. Universität Hohenheim. Department of Plant Production and Agroecology in the Tropics and Subtropics. Description of the spatial arrangement of *Jatropha curcas* L. root system. Disponible en: <http://www.asch-online.eu/downloads/FA-Rajaona-TT09.pdf>
Fecha de consulta: 10 de Marzo de 2013.

ROBERTS, T; HENRY, J. 2001. Informaciones Agronómicas N° 42. El muestreo de suelos: Los beneficios de un buen trabajo. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/97F3E059E43811A0852579A300790776/\\$FILE/El%20muestreo%20de%20suelos.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/97F3E059E43811A0852579A300790776/$FILE/El%20muestreo%20de%20suelos.pdf)
Fecha de Consulta: 29 de Mayo de 2014.

ROSETO, E. 2013. Evaluación de la aplicación de compost proveniente de biorresiduos del Municipio de Versalles y residuos de poda de jardín en las propiedades químicas y biológicas de un suelo Andisol y en la producción de Maíz (*Zea mays*). Tesis de Grado, Universidad del Valle. Santiago de Cali. 49 – 119p.

SALAZAR, E; JIMÉNEZ, F; VÁZQUEZ, R; VÁZQUEZ, C; CUETO, J; LÓPEZ, J; FORTIR, M; ZÚÑIGA, R; FIGUEROA, U; TREJO, H; ZERMEÑO, H; AMADO, J; ORTÍZ, P. 2003. Abonos Orgánicos y Plasticultura. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo – UJED, Facultad de Agricultura y Zootecnia. Gómez Palacio, México. 20 – 233p.

SANCHEZ, J. 2007. Fertilidad del suelo y nutrición mineral de las plantas. Fertitec S.A.: Lima, Perú. 3 -18p. 16 – 48p.

SEMMARTIN, M. 2006. Dinámica de la descomposición y la mineralización neta de nitrógeno y del fósforo de heces de vacunos en pastoreo sobre un pastizal templado. Revista Argentina de Producción Animal: Vol. 26. 193 – 202p.

SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO (SCCS). 2001. Fertilidad de Suelos: Diagnóstico y control (Segunda Edición). Editora Guadalupe: Bogotá D.C. 13 – 528p.

SRINOPHANKUN, P; TITTAPIWATANKUN, B; SOOKSATHAN, I; PUNSUVON, V. 2012. Prospect of Deoiled *Jatropha curcas* Seedcake as Fertilizer for Vegetables Crops – A Case Study. Journal of Agricultural Science, Vol. 4 (3). 211 – 226p.

SURIHARN, B; SANITCHON, J; SANGSRI, P; KISMALA, T. 2011. Effects of pruning levels and fertilizer rates on yield of Physic Nut (*Jatropha curcas* L.). Asian Journal of Plant Science: Vol. 10. 52-59p.

SZTERN, D; PRAVIA, M. 1999. Manual para la elaboración de compost: bases y conceptos. Organización Panamericana de la Salud. Montevideo, Uruguay. 15-19p.

TAMAYO, A. 2006. Tecnología para el cultivo de la Estevia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). Rionegro, Antioquia. 43 – 47p.

TORO, M; BAZO, I; LÓPEZ, M. 2008. Micorrizas arbusculares y bacterias promotoras de crecimiento vegetal, biofertilizantes nativos de sistemas agrícolas bajo manejo conservacionista. Agronomía Tropical, Vol. 58(3). 215 – 221p.

VAN DER PUTTEN, E; JAN FRANKEN, Y; RIJSSENBECK, W; BURENS, P; VAN EIJCK, J. 2009. Manual de *Jatropha*. FACT: Eindhoven, Holanda. 7 - 27p.

VANDER PUTTEN, E; FRANKEN, Y; NIELSEN, F; DE JONGH, J; RIJSENBECK, W; BEERENS, P; VAN EIJCK; GALEMA, T; GROENEVELD, G; ANSO, N; WIJNKER, M; ADRIAANS, T; MOERS, P. 2010. The *jatropha* handbook: from cultivation to application. FACT Foundation. Eindhoven, Holanda. 9 – 39p.

VAN PEER, A. 2010. *Jatropha Pro*. Growing *Jatropha*. Disponible en: <http://www.jatropha.pro/PDF%20bestanden/Growing%20Jatropha%20manual%2003%20published.pdf>

Fecha de Consulta: 6 de Abril de 2014.

VERGARA, F. 2010. Selección de la variedad de achiote y bioinsumos para las condiciones agroecológicas del centro del Valle del Cauca en el marco de las buenas prácticas agrícolas. Tesis de Grado, Universidad del Valle. Santiago de Cali. 1- 50p.

ZÉREGA, L. 2012. PDVSA Agrícola. Manual de campo para identificar y controlar las limitaciones de suelo, deficiencias nutricionales y plagas (insectos y enfermedades) de la caña de azúcar más importantes en Venezuela. Disponible en:
http://infoagro.net/archivos_Infoagro/Infotec/biblioteca/Manual_de_campo_iden.pdf
Fecha de consulta: Diciembre 2 de 2014.

ANEXOS.

Anexo A. Información recolectada para análisis de Suelo.

Pruebas Físicas.

Textura.

muestra	Lec 40 s	T 40 s (°C)	Lec 2 h	T 2h (°C)	Lec cor 40s	Lec cor 2h
1	22.5	24	13	26	23.42	14.32
2	25	24	15	26	25.92	16.32
3	26.5	25	17	26.5	27.62	18.42

Muestra	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo(%)	Clase
1	53.16	28.64	18.2	FrancoArcilloArenosa
2	48.16	32.64	19.2	FrancoArcilloArenosa
3	44.76	36.84	18.4	FrancoArcilloArenosa

Densidad Aparente.

Peso+par (gr)	Parafina (gr)	V par (ml)	Da (gr/cm3)
6.5	1.6	1.78	1.52
4.6	1.6	1.78	1.35
4.4	0.6	0.67	1.14
4.3	1.6	1.78	1.215
3.9	1.1	1.22	1.575

Da Promedio (gr/cm3)	1.36
----------------------	------

Pruebas Químicas:

Determinación de pH:

Muestra	pH
1	7.12
2	6.82
3	6.96

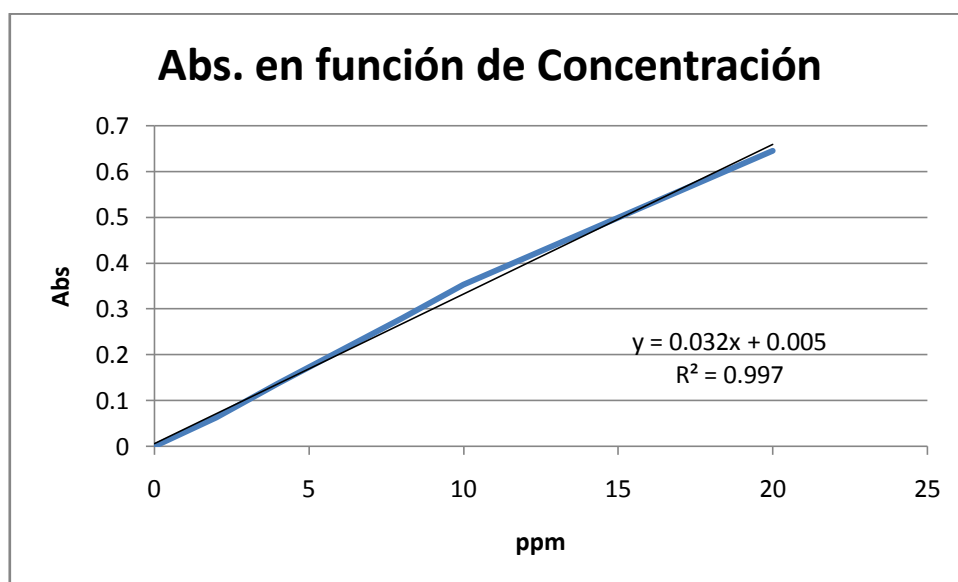
pH	6.97
----	------

Potasio (Determinado por Laboratorio de Análisis Industriales).

K disponible	
ppm	289
%	0.0289
cmol / Kg	0.7391

Fósforo Disponible:

ppm	Abs. 630nm
0	0.000
1	0.032
2	0.063
4	0.137
8	0.279
10	0.353
20	0.645

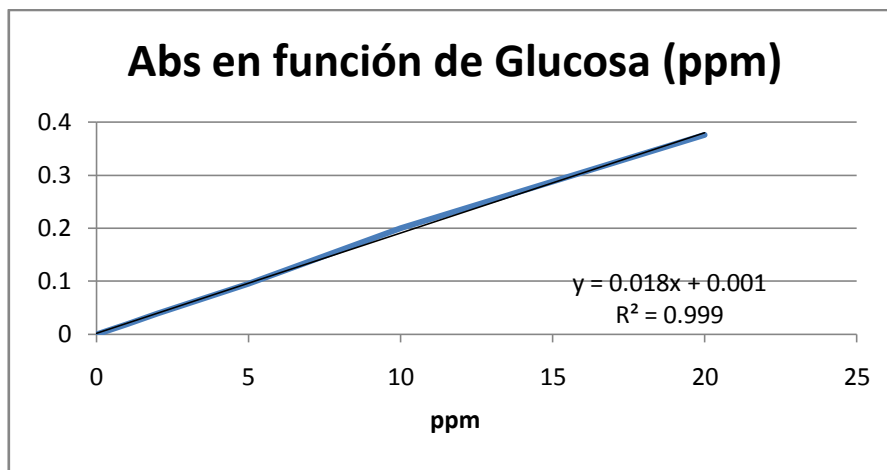


Abs	Concentración (ppm)	P (ppm)	P (%)
0.103	3.06	26.86	0.00269

Materia Orgánica.

Absorbancia	Sacarosa (ppm)
0	0
0.019	1
0.039	2
0.096	5
0.2	10
0.376	20

Absorbancia	C (%)	MO (%)	N total (%)	N disp (%)
0.094	1.30	2.24	0.112	0.001680



Anexo B. Numeración de plantas, para la toma de datos.

B I		B II		B III	
31	32	33	34	95	96
29	30	35	36	93	94
27	28	37	38	91	92
25	26	39	40	89	90
23	24	41	42	87	88
21	22	43	44	85	86
19	20	45	46	83	84
17	18	47	48	81	82
15	16	49	50	79	80
13	14	51	52	77	78
11	12	53	54	75	76
9	10	55	56	73	74
7	8	57	58	71	72
5	6	59	60	69	70
3	4	61	62	67	68
1	2	63	64	65	66

Anexo C. Registro Diámetro y Altura.

Noviembre.

Planta	Diámetro (cm)	Altura (cm)
1	2.19	46
2	3.86	86
3	2.26	57
4	3.05	56
5	3.03	79
6	2.21	60
7	2.26	54
8	2.19	41
9	2.40	79
10	3.09	67
11	2.59	57
12	2.61	74
13	x	x
14	2.45	48
15	2.62	73
16	3.40	66
17	x	x
18	2.64	35
19	1.97	38
20	2.84	35
21	2.03	36
22	2.53	48
23	x	x
24	2.22	30
25	x	x
26	2.40	76
27	x	x
28	2.90	46
29	2.91	23
30	2.32	29
31	x	x
32	x	x
33	x	x
34	x	x
35	x	x
36	1.75	46
37	1.87	48
38	2.77	56
39	2.47	47
40	3.04	48

41	2.73	60
42	3.24	72
43	3.03	56
44	2.88	42
45	3.45	48
46	3.19	40
47	2.54	42
48	2.44	42
49	3.71	60
50	3.30	48
51	2.51	39
52	3.07	71
53	2.33	48
54	2.01	40
55	3.11	71
56	2.58	72
57	2.99	53
58	3.04	47
59	2.94	63
60	3.21	82
61	2.76	84
62	3.38	84
63	2.89	57
64	2.47	37
65	1.83	72
66	1.90	59
67	1.63	80
68	3.13	57
69	3.36	71
70	2.37	50
71	3.18	68
72	2.32	59
73	3.23	75
74	2.38	48
75	1.48	73
76	3.33	62
77	3.05	66
78	x	x
79	3.21	53
80	2.91	52
81	3.48	81
82	3.11	68

83	3.32	62
84	3.07	63
85	3.30	57
86	2.68	59
87	2.50	45
88	3.39	81
89	2.54	74
90	2.49	52
91	2.40	52
92	2.49	43
93	1.99	39
94	2.52	64
95	2.50	38
96	3.01	71

Diciembre.

Planta	Diámetro (cm)	Altura (cm)
1	2.22	61
2	3.91	93
3	2.30	66
4	3.09	62
5	3.05	83
6	2.25	65
7	2.29	66
8	2.20	52
9	2.43	83
10	3.12	77
11	2.62	70
12	2.65	86
13	x	x
14	2.49	59
15	2.66	82
16	3.43	78
17	x	x
18	2.68	48
19	1.98	46
20	2.88	48
21	2.06	43
22	2.57	56
23	x	x

24	2.26	42
25	x	x
26	2.44	82
27	x	x
28	2.93	59
29	2.94	39
30	2.35	41
31	x	x
32	x	x
33	x	x
34	x	x
35	x	x
36	1.77	56
37	1.90	62
38	2.81	66
39	2.50	56
40	3.08	61
41	2.76	70
42	3.27	84
43	3.07	68
44	2.90	52
45	3.49	64
46	3.23	55
47	2.57	53
48	2.48	55
49	3.73	68
50	3.34	63
51	2.54	51
52	3.10	85
53	2.37	58
54	2.05	49
55	3.13	82
56	2.61	79
57	3.01	63
58	3.08	57
59	2.96	69
60	3.26	93
61	2.78	94
62	3.41	95
63	2.92	65
64	2.50	47
65	1.87	76
66	1.92	64
67	1.66	87

68	3.17	66
69	3.39	77
70	2.40	56
71	3.22	72
72	2.34	62
73	3.27	80
74	2.41	49
75	1.52	78
76	3.37	69
77	3.08	70
78	x	x
79	3.24	58
80	2.95	59
81	3.53	87
82	3.14	73
83	3.35	71
84	3.10	69
85	3.34	63
86	2.71	62
87	2.54	49
88	3.41	85
89	2.60	75
90	2.52	56
91	2.44	59
92	2.52	49
93	2.02	44
94	2.55	65
95	2.52	44
96	3.04	73

10	3.54	81
11	3.43	77
12	3.36	94
13	x	x
14	3.08	67
15	3.30	88
16	3.73	84
17	x	x
18	3.16	55
19	2.55	50
20	3.14	53
21	2.39	48
22	2.97	62
23	x	x
24	2.70	49
25	x	x
26	2.97	85
27	x	x
28	3.25	64
29	3.06	44
30	2.66	45
31	x	x
32	x	x
33	x	x
34	x	x
35	x	x
36	2.52	62
37	2.75	67
38	3.18	70
39	3.16	62
40	3.49	65
41	3.26	74
42	3.71	88
43	3.48	73
44	3.29	56
45	3.64	69
46	3.41	61
47	3.01	57
48	2.99	60
49	4.00	76
50	3.61	71
51	3.16	59
52	3.73	89
53	2.96	64
54	2.69	54

Enero.

Planta	Diámetro (cm)	Altura (cm)
1	2.89	65
2	4.18	97
3	2.98	69
4	3.58	70
5	3.56	87
6	3.03	71
7	2.98	72
8	2.82	56
9	3.20	89

55	3.77	87
56	3.29	85
57	3.41	68
58	3.48	66
59	3.65	76
60	3.91	96
61	3.45	96
62	3.83	100
63	3.40	70
64	2.94	54
65	2.74	82
66	2.73	69
67	2.71	90
68	3.59	74
69	3.97	82
70	3.08	63
71	3.77	79
72	2.91	65
73	3.63	87
74	2.96	54
75	2.66	85
76	3.87	77
77	3.64	77
78	x	x
79	3.51	63
80	3.44	67
81	4.03	95
82	3.58	80
83	3.71	77
84	3.62	76
85	3.81	71
86	3.19	69
87	3.00	56
88	3.76	91
89	2.79	84
90	3.05	63
91	3.02	65
92	3.09	56
93	2.52	50
94	3.13	73
95	2.85	48
96	3.49	80

Febrero.

Planta	Diámetro (cm)	Altura (cm)
1	3.2	74
2	4.3	107
3	3.3	76
4	3.8	80
5	3.8	93
6	3.4	79
7	3.3	81
8	3.1	62
9	3.56	98
10	3.74	85
11	3.8	87
12	3.69	106
13	x	x
14	3.35	79
15	3.6	96
16	3.87	92.5
17	x	x
18	3.38	65
19	2.815	54
20	3.255	60
21	2.54	55
22	3.16	70
23	x	x
24	2.9	59
25	x	x
26	3.22	89
27	x	x
28	3.4	70.5
29	3.12	51
30	2.8	51
31	x	x
32	x	x
33	x	x
34	x	x
35	x	x
36	2.865	71.5
37	3.15	75
38	3.36	77
39	3.47	70.5
40	3.675	71.5
41	3.49	79

42	3.92	93
43	3.67	78.5
44	3.47	61
45	3.71	76
46	3.5	70
47	3.22	64
48	3.23	67.5
49	4.12	86
50	3.74	81
51	3.44	69
52	4.03	94.5
53	3.24	72
54	2.995	62
55	4.075	94
56	3.61	92
57	3.59	76.5
58	3.67	78
59	3.97	85
60	4.21	101
61	3.76	98.5
62	4.03	108
63	3.62	76.5
64	3.15	64
65	3.14	90
66	3.105	76
67	3.195	95
68	3.78	85
69	4.24	89
70	3.405	73
71	4.02	89
72	3.175	69
73	3.805	96
74	3.225	62
75	3.19	94
76	4.105	88
77	3.9	88
78	x	x
79	3.64	69
80	3.66	78
81	4.27	107.5
82	3.785	89
83	3.87	86
84	3.865	87
85	4.025	81
86	3.415	79

87	3.22	64.5
88	3.925	99
89	3.0585	96
90	3.295	71.5
91	3.295	73
92	3.36	66
93	2.76	58
94	3.4	85
95	3.005	54
96	3.695	89

29	3.27	69
30	3.18	66
31	x	x
32	x	x
33	x	x
34	3.27	61
35	x	x
36	3.79	94
37	4.21	94
38	3.83	93
39	4.29	91
40	4.18	87
41	4.11	93
42	4.47	107
43	4.18	93
44	3.95	75
45	3.9	93
46	3.73	91
47	3.77	80
48	3.87	85
49	4.45	112
50	4.08	107
51	4.2	95
52	4.82	109
53	3.98	92
54	3.8	81
55	4.88	111
56	4.46	110
57	4.08	97
58	4.17	108
59	4.83	108
60	5.02	112
61	4.59	105
62	4.56	127
63	4.21	93
64	3.7	88
65	4.22	108
66	4.11	91
67	4.5	106
68	4.3	109
69	4.96	105
70	4.26	95
71	4.7	110
72	3.88	78
73	4.26	117

74	3.92	79
75	4.61	115
76	4.73	112
77	4.6	111
78	x	x
79	3.98	83
80	4.26	103
81	4.9	134
82	4.33	109
83	4.31	106
84	4.51	110
85	4.61	104
86	4.01	101
87	3.8	84
88	4.36	116
89	4.3	123
90	3.95	91
91	4.02	91
92	4.07	88
93	3.39	76
94	4.12	111
95	3.42	67
96	4.25	110

Marzo.

Planta	Diámetro (cm)	Altura (cm)
1	4.03	98
2	4.63	133
3	4.15	94
4	4.4	108
5	4.44	108
6	4.38	101
7	4.16	104
8	3.86	77
9	4.52	122
10	4.27	97
11	4.8	113
12	4.57	137
13	x	x
14	4.08	110
15	4.4	118
16	4.24	115
17	x	x
18	3.97	91
19	3.52	66
20	3.57	79
21	2.95	72
22	3.66	90
23	x	x
24	3.44	83
25	x	x
26	3.88	99
27	x	x
28	3.8	87

Abril.

Planta	Diámetro (cm)	Altura (cm)
1	4.89	140
2	5.86	164
3	5.075	122
4	5.44	139
5	4.97	127
6	5.3	125
7	4.92	141
8	4.36	106
9	5.35	147
10	4.98	122
11	5.52	154
12	5.81	179
13	x	x
14	5.13	150
15	5.24	149

16	5.16	151
17	x	x
18	5.02	132
19	3.97	88
20	4.63	113
21	3.69	98
22	4.6	121
23	x	x
24	4.66	123
25	x	x
26	5.05	118
27	x	x
28	4.43	122
29	4.11	109
30	3.97	97
31	x	x
32	x	x
33	x	x
34	x	x
35	x	x
36	4.55	129
37	5	132
38	4.84	123
39	5.26	124
40	5.16	120
41	4.83	119
42	5.28	136
43	5.18	125
44	4.65	101
45	4.73	133
46	4.68	134
47	4.53	111
48	4.74	121
49	5.01	148
50	5.18	153
51	5.2	137
52	5.56	142
53	5.02	126
54	4.66	112
55	5.24	143
56	5.2	138
57	4.64	129
58	5.15	151
59	5.38	138
60	6.2	140

61	5.08	126
62	5.33	160
63	5.08	120
64	4.62	126
65	5.12	136
66	4.77	108
67	5.29	128
68	5.3	152
69	5.76	131
70	5	130
71	5.6	141
72	4.6	93
73	5.39	148
74	4.67	99
75	5.54	146
76	5.69	151
77	5.29	145
78	x	x
79	4.73	107
80	5.245	141
81	6.07	174
82	5.2	140
83	5.23	142
84	5.42	147
85	5.53	139
86	4.84	131
87	4.72	114
88	4.91	144
89	5.68	156
90	4.92	120
91	4.96	123
92	5.025	122
93	4.22	105
94	4.96	143
95	3.85	91
96	5.11	136

Mayo.

Planta	Diámetro (cm)	Altura (cm)
1	5.18	145
2	6.07	194
3	5.31	142
4	5.74	154
5	5.22	155
6	5.53	156
7	5.07	169
8	4.76	138
9	5.66	166
10	5.2	149
11	6.14	182
12	6.23	211
13	x	x
14	5.53	184
15	5.68	157
16	5.86	168
17	x	x
18	5.56	137
19	4.23	106
20	4.94	112
21	4	119
22	5.03	137
23	x	x
24	5.02	148
25	x	x
26	5.15	155
27	x	x
28	4.75	147
29	4.43	128
30	4.45	127
31	x	x

32	x	x
33	x	x
34	x	x
35	x	x
36	5.08	150
37	5.54	158
38	5.25	133
39	5.31	149
40	5.47	146
41	5.17	152
42	5.6	162
43	5.3	151
44	5.04	130
45	5.27	146
46	5.2	156
47	5.01	146
48	5.27	145
49	5.03	160
50	5.74	169
51	5.61	146
52	5.68	166
53	5.64	159
54	4.95	134
55	5.51	170
56	5.66	154
57	5.18	152
58	5.67	172
59	5.95	148
60	6.57	147
61	5.55	147
62	5.78	179
63	5.33	131
64	4.91	137
65	5.21	152
66	5.23	148

67	5.46	154
68	5.22	178
69	6.33	153
70	5.47	161
71	6	155
72	4.97	102
73	5.76	163
74	5.37	125
75	5.58	176
76	5.8	173
77	5.88	160
78	x	x
79	5.18	137
80	5.58	166
81	6.53	209
82	5.72	166
83	5.62	173
84	5.94	177
85	6	157
86	5.24	156
87	4.88	128
88	5.31	156
89	6.18	189
90	5.38	143
91	5.43	153
92	5.37	150
93	4.71	136
94	5.17	162
95	4.25	105
96	5.22	156

Anexo D. Registro Floración y Frutos.

Cronología.

Bloque I:

Planta	Inicio Floración	Aparición frutos	Cosecha
1	10/02/2015	09/03/2015	20/04/2015
2			
3			
4	16/02/2015	09/03/2015	25/04/2015
5			
6	10/02/2015	09/03/2015	28/04/2015
7	03/02/2015	08/03/2015	16/04/2015
8			
9	28/01/2015	01/03/2015	16/04/2015
10			
11	07/02/2015	10/03/2015	19/04/2015
12			
14	17/02/2015	28/03/2015	12/05/2015
15	04/02/2015	10/03/2015	25/04/2015
16	07/03/2015	07/04/2015	14/05/2015
18	18/03/2015	21/04/2015	26/05/2015
19			
20	20/03/2015	15/04/2015	20/05/2015
21			
22	09/03/2015	14/04/2015	22/05/2015
24	28/03/2015	20/04/2015	27/05/2015
26	01/03/2015	19/03/2015	09/05/2015
28	18/03/2015	12/04/2015	21/05/2015
29	11/03/2015	31/03/2015	15/05/2015
30	26/03/2015	07/04/2015	17/05/2015

Bloque II:

Planta	Inicio Floración	Aparición frutos	Cosecha
36	07/03/2015	11/04/2015	16/05/2015
37	06/04/2015		
38	29/03/2015	22/04/2015	27/05/2015
39	23/02/2015	07/04/2015	25/05/2015
40	07/04/2015		
41	29/03/2015	15/04/2015	27/05/2015
42	03/02/2015	08/03/2015	26/04/2015

43	05/02/2015	08/03/2015	18/04/2015
44			
45	29/03/2015	18/04/2015	26/05/2015
46	11/03/2015	07/04/2015	18/05/2015
47			
48			
49	12/03/2015	08/04/2015	16/05/2015
50	22/02/2015	02/04/2015	19/05/2015
51	27/04/2015	12/04/2015	23/05/2015
52	25/02/2015	04/04/2015	24/05/2015
53	10/03/2015	05/04/2015	19/05/2015
54			
55	02/02/2015	01/03/2015	14/04/2015
56	03/02/2015	15/03/2015	19/04/2015
57	17/02/2015	31/03/2015	15/05/2015
58	18/02/2015	02/04/2015	09/05/2015
59	29/03/2015		
60	21/02/2015	30/03/2015	16/05/2015
61	22/02/2015	31/03/2015	06/05/2015
62	01/02/2015	01/03/2015	10/04/2015
63			
64			

Bloque III:

Planta	Inicio Floración	Aparición frutos	Cosecha
65	08/02/2015	07/04/2015	25/05/2015
66			
67	01/03/2015	08/04/2015	20/05/2015
68	18/02/2015	14/03/2015	05/05/2015
69	16/01/2015	01/02/2015	13/03/2015
70	29/03/2015		
71	28/03/2015	17/04/2015	05/06/2015
72			
73	01/02/2015	07/03/2015	17/04/2015
74	14/03/2015	10/03/2015	26/04/2015
75	02/02/2015	10/03/2015	22/04/2015
76	10/02/2015	11/03/2015	19/04/2015
77	28/03/2015	15/04/2015	25/05/2015
79	29/03/2015	13/04/2015	25/05/2015
80	02/02/2015	08/03/2015	16/04/2015
81			

82	10/02/2015	06/04/2015	24/05/2015
83	28/01/2015	31/03/2015	19/05/2015
84	14/02/2015	05/04/2015	12/05/2015
85	15/02/2015	08/04/2015	25/05/2015
86	24/02/2015	30/03/2015	04/05/2015
87	28/03/2015	16/04/2015	23/05/2015
88	24/02/2015	01/03/2015	19/04/2015
89			
90	07/03/2015	31/03/2015	20/05/2015
91	24/02/2015	04/04/2015	18/05/2015
92	22/02/2015	02/04/2015	11/05/2015
93	29/04/2015		
94	07/02/2015	12/03/2015	16/04/2015
95			
96	28/01/2015	01/03/2015	11/04/2015

0.8
0.8
0.8
0.8
0.8
0.8
0.6
0.8
0.9
0.8
0.8
0.8
0.6
0.8
0.8
0.8
0.7
0.7
0.8

Relación sexo flores.

Sexo		Proporción
M	F	
56	4	14
93	12	8
48	3	16
78	4	20
84	8	11

Promedio M:F	14
--------------	----

Media	0.79
-------	------

Producción.

Frutos.

Peso (g)	# Frutos	Prom (g)
11.64	1	11.64
71.34	7	10.19
50.4	4	12.6
44.3	4	11.075
46.7	4	11.675
Peso promedio		11.44

Semillas.

Peso (g)
0.8
0.9
0.9

Bloque	Trat	Planta	Producción (g)
I	1	1	128
I	1	2	0
I	1	3	0
I	1	4	256
I	4	5	0
I	4	6	93
I	4	7	210
I	4	8	0
I	3	9	186
I	3	10	0
I	3	11	151
I	3	12	0
I	5	13	x
I	5	14	140
I	5	15	186
I	5	16	128
I	7	17	x
I	7	18	204
I	7	19	0

I	7	20	125
I	8	21	0
I	8	22	79
I	8	23	x
I	8	24	57
I	6	25	x
I	6	26	114
I	6	27	x
I	6	28	136
I	2	29	91
I	2	30	57
I	2	31	x
I	2	32	x

Bloque	Trat	Planta	Producción (g)
II	7	33	x
II	7	34	x
II	7	35	x
II	7	36	124
II	4	37	0
II	4	38	66
II	4	39	100
II	4	40	0
II	5	41	89
II	5	42	177
II	5	43	211
II	5	44	0
II	2	45	66
II	2	46	199
II	2	47	0
II	2	48	0
II	3	49	199
II	3	50	299
II	3	51	0
II	3	52	22
II	1	53	22
II	1	54	0
II	1	55	189
II	1	56	178
II	8	57	83
II	8	58	142
II	8	59	0
II	8	60	166
II	6	61	59

II	6	62	178
II	6	63	0
II	6	64	0

Bloque	Trat	Planta	Producción (g)
III	4	65	142
III	4	66	0
III	4	67	83
III	4	68	284
III	2	69	213
III	2	70	107
III	2	71	137
III	2	72	0
III	3	73	194
III	3	74	46
III	3	75	182
III	3	76	273
III	1	77	68
III	1	78	x
III	1	79	57
III	1	80	103
III	6	81	0
III	6	82	159
III	6	83	57
III	6	84	216
III	7	85	205
III	7	86	68
III	7	87	80
III	7	88	171
III	5	89	0
III	5	90	11
III	5	91	46
III	5	92	205
III	8	93	0
III	8	94	205
III	8	95	0
III	8	96	194

Anexo E. Información de abonos empleados.

Gallinaza:

N total (%)	1.5
P total, P ₂ O ₅ (%)	3.9
K total, K ₂ O (%)	3
Calcio total, CaO(%)	10
Magnesio total, MgO (%)	1.3
Carbono Oxidable total (%)	24
Relación C/N	15
Cenizas	27
Humedad máxima (%)	12
pH	7
Densidad (g/cc)	0.51
CIC (meq/100g)	47.7
Capacidad de retención de humedad (%)	175

Cubeta calibrada para dosis de Gallinaza.



Lombricompost:

Cubeta calibrada para dosis de Lombricompost.



N total (%)	0.58
P total, P ₂ O ₅ (%)	2.628
K total, K ₂ O (%)	1.48
Calcio total, CaO(%)	10.49
Magnesio total, MgO (%)	1.744
Carbono Oxidable total (%)	14.3
Relación C/N	
Cenizas	73.6
Humedad máxima (%)	30.4
pH	8.95
Densidad (g/cc)	0.6
CIC (meq/100g)	39.6
Capacidad de retención de humedad (%)	85.2

Micorriza:

Nombre del Producto: ABONAMOS MICORRIZAS

Características: Inoculante biológico en presentación de sustrato sólido conformado por material inerte, arcilla, arena y raíces que contiene las estructuras de los Hongos Formadores de Micorrizas. Presentación: 1-10-40 Kg Característica del Empaque. Material en polipropileno. Se utiliza Layner. Uso: Producto para ser aplicado en diferentes tipos de suelo y cultivos, con el objeto de mejorar la asimilación de los nutrientes a través de la colonización de la raíz por parte del hongo, formando una asociación simbiótica de mutuo beneficio.	
--	--

Almacenamiento: El inóculo micorrizal puede ser almacenado hasta por seis meses en un lugar seco, fresco y alejado de pesticidas, se debe evitar las altas temperaturas y el humedecimiento del producto, esto hace que los hongos pierdan viabilidad.

Estabilidad: Estable bajo condiciones ordinarias de uso y almacenamiento.

Incompatibilidad: Combustibles, agentes reductores y oxidantes, ácidos y bases fuertes.

Composición Garantizada

Ingrediente activo: <i>Glomus sp</i> , <i>Entrophospora sp</i> y <i>Scutellospora sp</i>	
	50 esporas/g de sustrato seco*
*Composición mínima garantizada	
• Contenido total de propágulos infectivos por gramo superior a 100	
• Contenido de esporas viables por gramo superior a 40	
• Porcentaje de raíces micorrizadas superior a 40%	
• Conteo mínimo de raíces por kilogramo: 1 gramo	

Anexo F. Calculo de la dosis de riego.

T (°C)	28
P anual (mm)	900
F Lang	32.14
Clase Clima	Árido

Aforo Manguera		
Vol (Lt)	t (s)	Q (lt/s)
10	61	0.1639
10	62	0.1613

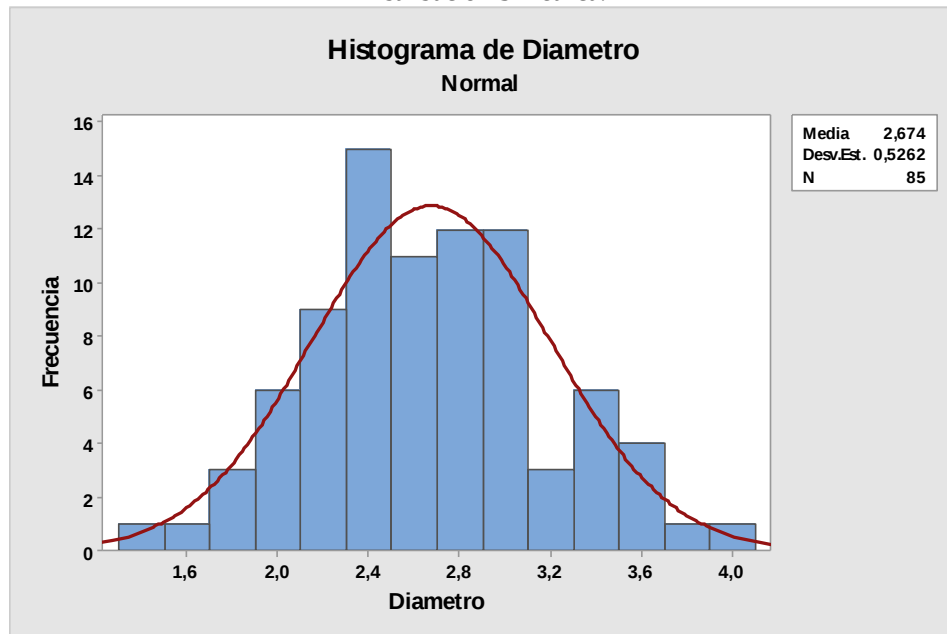
Q prom (Lt/s)	0.16
---------------	------

Mes	Ds(m)	Eficiencia Aplicación (%)	Eto (mm/día)	Kc	Kl	Nn (mm/día)	Nt (mm/día)	Nd (lt/día)	tiempo riego/planta (s)
Octubre	0.52	95	4.064	1.15	0.1398	0.65	0.69	2.75	17
Noviembre	0.54	95	3.831	1.15	0.1442	0.64	0.67	2.67	16
Diciembre	0.56	95	3.886	1.15	0.1488	0.67	0.70	2.80	17
Enero	0.64	95	4.188	1.15	0.1689	0.81	0.86	3.42	21
Febrero	0.73	95	4.412	1.15	0.1946	0.99	1.04	4.16	26
Marzo	0.89	95	4.499	1.15	0.2487	1.29	1.35	5.42	33
Abril	1.02	95	4.140	0.55	0.2984	0.68	0.72	2.86	18
Mayo	1.15	95	3.794	0.55	0.3604	0.75	0.79	3.17	19

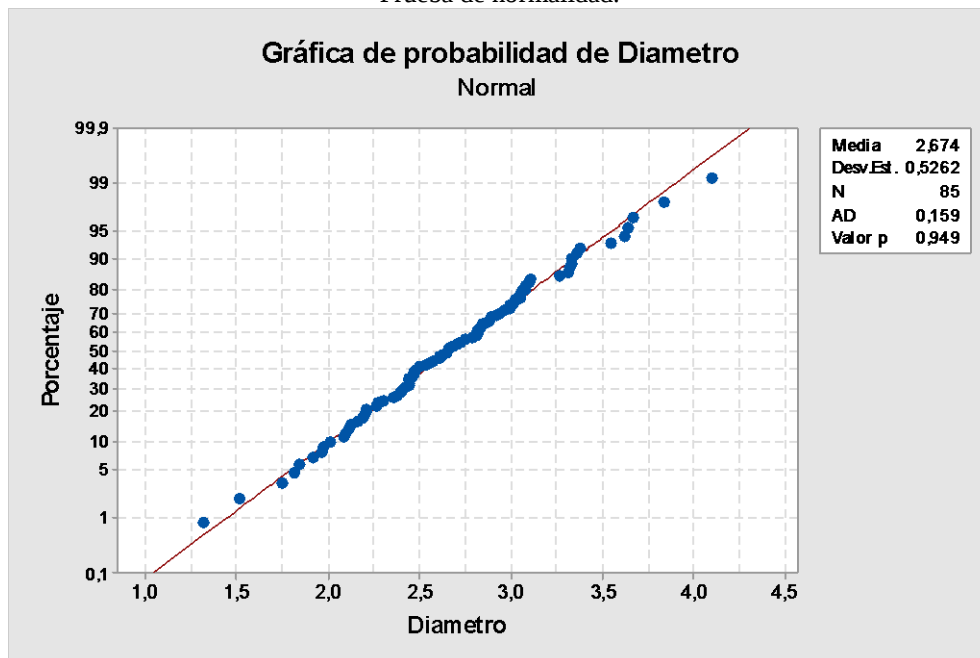
Anexo G. Análisis estadístico (Complemento).

Diámetro Tallo:

Distribución Simétrica.

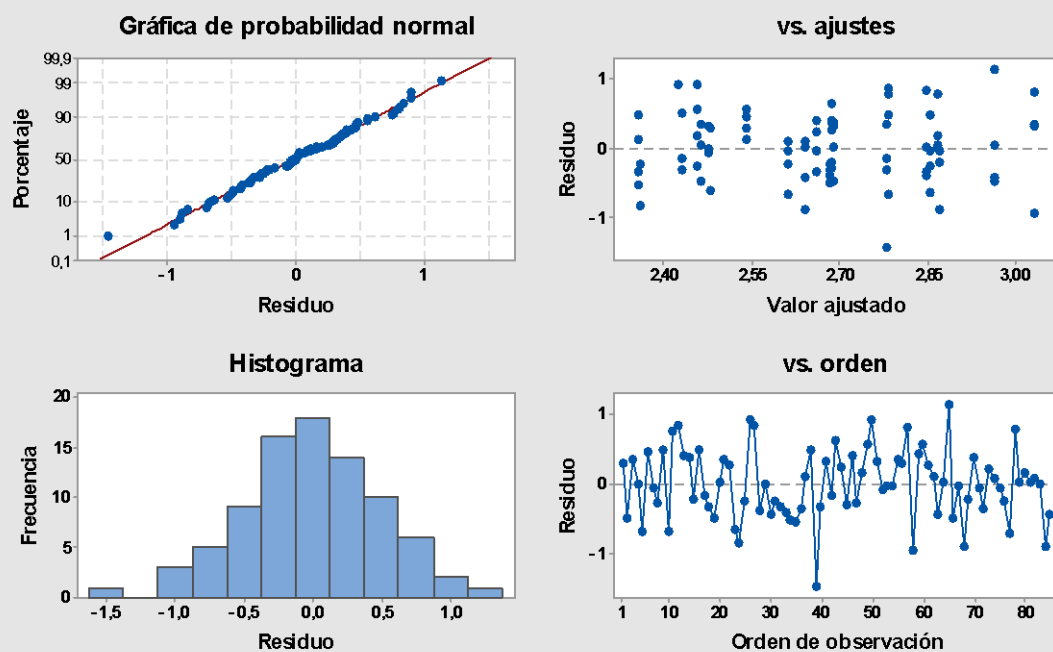


Prueba de normalidad.



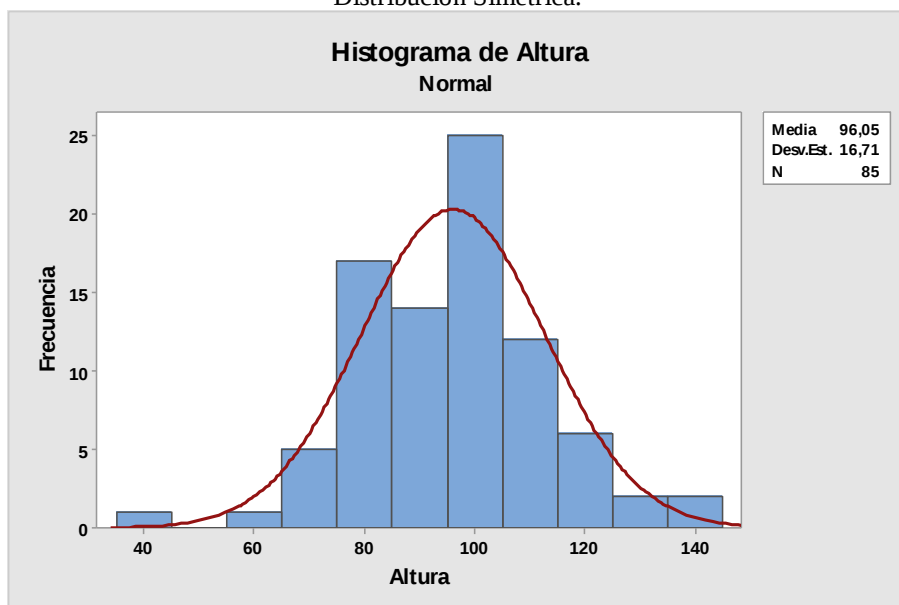
Validación de supuestos del modelo.

Gráficas de residuos para Diametro

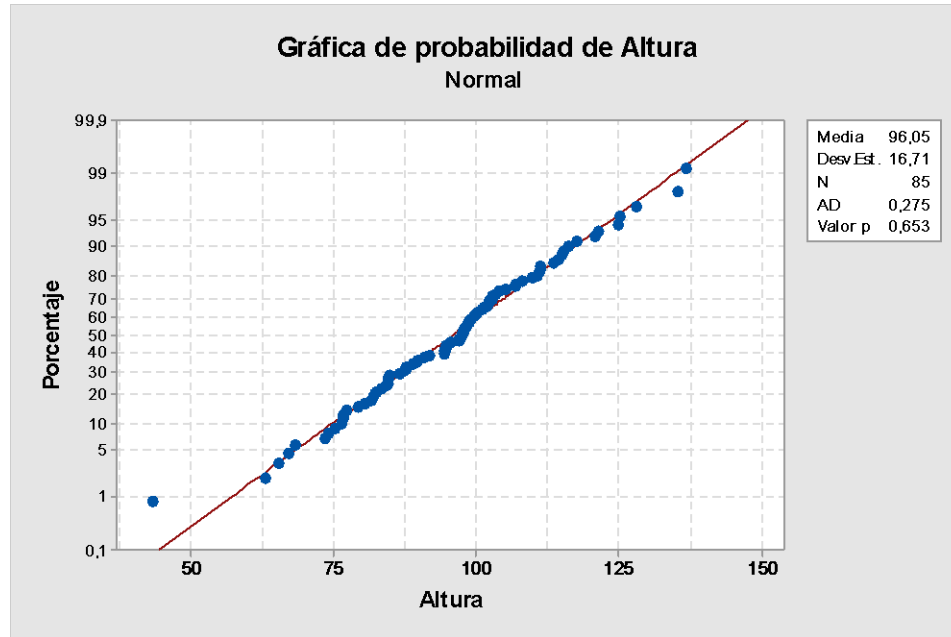


Altura Plantas:

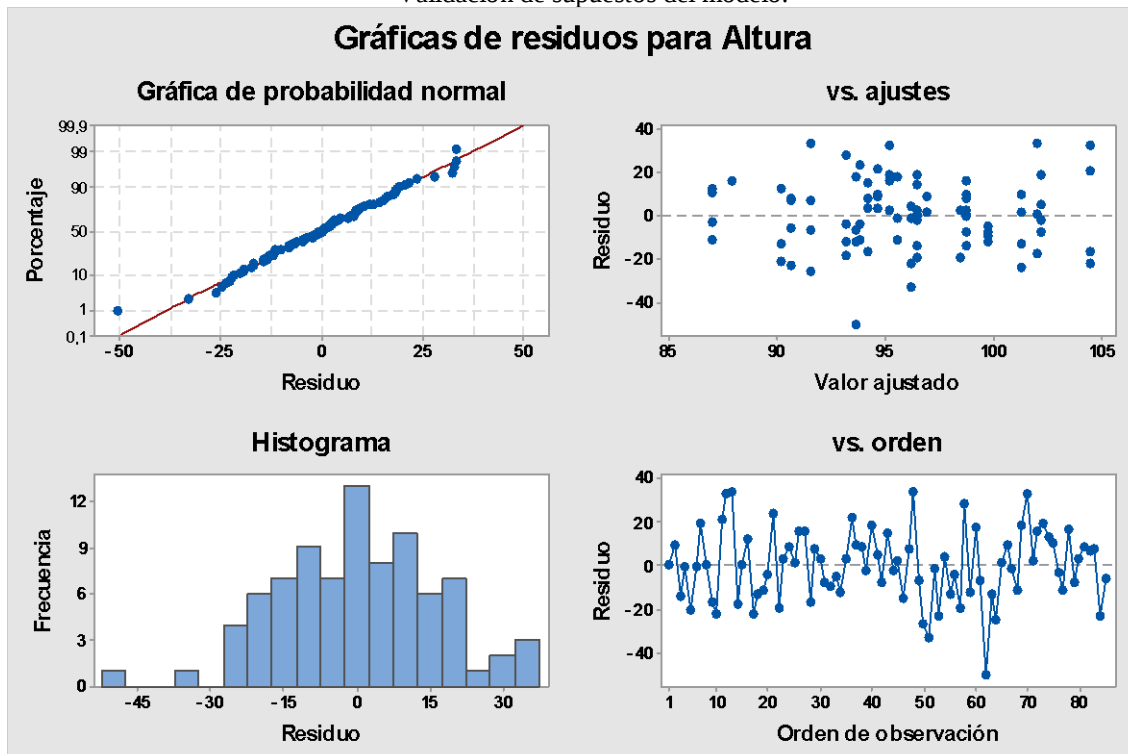
Distribución Simétrica.



Prueba de Normalidad.

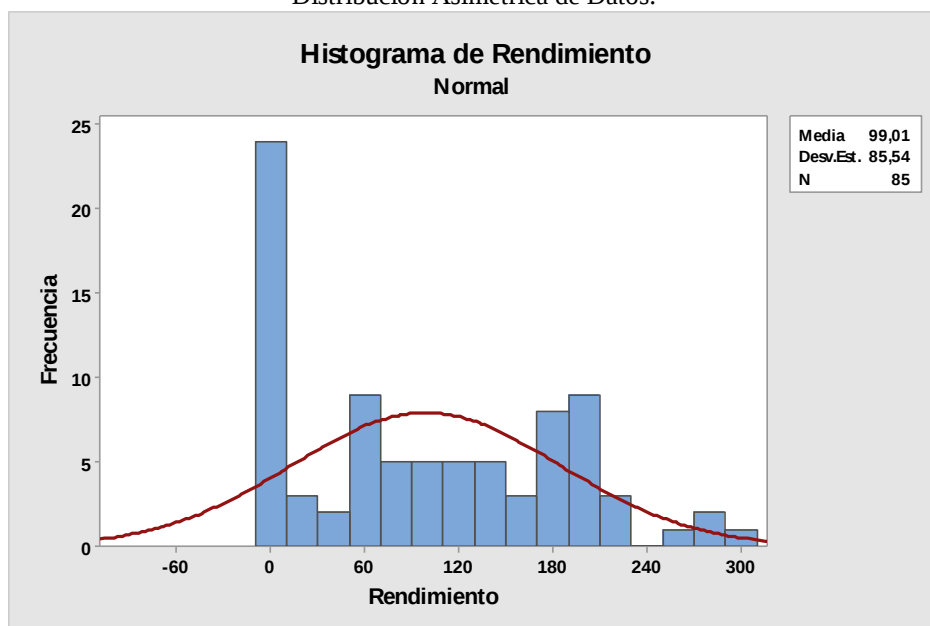


Validación de supuestos del modelo.



Rendimiento:

Distribución Asimétrica de Datos.



Prueba de Normalidad.

