

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“Comparación del efecto de 2 biofertilizantes líquidos a base de
estiércol caprino y vacuno sobre parámetros de crecimiento de
algarrobo (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) en fase de vivero”**

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Presentada por:

María del Cisne Wong Preciado

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO 2008

AGRADECIMIENTO

A Map. Kleber Morán Q, director del Programa para el Desarrollo de la Península de Santa Elena, quien me dio un voto de confianza y apoyó constantemente la realización de esta investigación, de la misma manera a M.Sc. Edwin Jiménez R., Ing. Omar Ruiz B., Naguib Chavarría V. por la asesoría en la ejecución de la tesis y a las mejores viveristas 2007, mis amigas.

DEDICATORIA

A mis padres Vicente y María Elena y mi hermano Leonardo, únicos merecedores de este logro, ya que día a día con su ahínco, perseverancia, amor y fe en Dios se esforzaron para que llegue a culminar mis estudios.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Miguel Quilambaqui
DELEGADO DEL DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

M.Sc. Edwin Jiménez R.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Carlos Burbano V.
VOCAL

Ing. Omar Ruiz B.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma corresponden a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA EL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

María del Cisne Wong Preciado

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en la comuna Sinchal-Barcelona del cantón Santa Elena debido a la problemática de deforestación y contaminación por el uso desmedido de productos químicos. Bajo este contexto, se consideró una alternativa viable utilizar fuentes orgánicas locales para la elaboración de biofertilizantes líquidos a base de estiércoles vacuno y caprino, para ser aplicados en fase de vivero a una especie de rápido crecimiento, alto contenido de proteínas y usos múltiples, como el algarrobo (*Prosopis juliflora*).

El objetivo fundamental fue comparar el efecto de los biofertilizantes líquidos sobre parámetros agronómicos como altura de planta, número de hojas y mortalidad del algarrobo. El ensayo se realizó bajo un diseño completamente al azar, con 8 tratamientos y 3 réplicas. Los tratamientos se fundamentaron en aplicaciones semanales de biofertilizantes de vaca y chivo (dosis de 10, 30 y 70

% de concentración), además de un control absoluto y un control químico a base de urea.

Para la elaboración de los biofertilizantes se utilizó un biodigestor de régimen estacionario o de Batch. Luego de 2 meses de fermentación se sometió a los biofertilizantes a un análisis físico-químico y se obtuvo 1,45 % de N para el biol de chivo y 0,24 % de N para el biol de vaca.

El análisis de varianza arrojó que el ensayo para las variables altura de planta y número de hojas es significativo, lo cual indica que los biofertilizantes tienen gran efecto al ser aplicados al algarrobo en fase de vivero.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGÍA.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO 1

1. EL ALGARROBO.....	3
1.1 Descripción Taxonómica.....	3
1.1.1 Nombre científico.....	3
1.1.2 Clasificación Taxonómica.....	4
1.1.3 Sinonimia.....	4
1.1.4 Nombres comunes.....	5
1.2 Distribución.....	5
1.2.1 Ecológica.....	5

	1.2.2	Natural.....	7
	1.2.3	Introducida.....	7
1.3		Fenología.....	8
	1.3.1	Forma.....	8
	1.3.2	Copa.....	9
	1.3.3	Tronco y ramas.....	9
	1.3.4	Hojas.....	9
	1.3.5	Flores.....	10
	1.3.6	Frutos.....	10
1.4		Silvicultura y manejo.....	11
	1.4.1	Edad de fructificación.....	11
	1.4.2	Recolección de vainas.....	12
	1.4.3	Obtención de los frutos.....	12
	1.4.4	Método de selección de semillas.....	13
	1.4.5	Almacenamiento.....	13
	1.4.6	Tratamientos pregerminativos.....	14
	1.4.7	Propagación.....	15
	1.4.8	Reproducción asexual.....	15
	1.4.9	Reproducción sexual.....	16
	1.4.10	Etapa de semillero.....	18

1.4.11	Etapa de vivero.....	21
1.4.12	Plantación.....	24
1.4.12.1	Plantación Comercial, Productiva o Experimental.....	25
1.4.12.2	Plantación para reforestación o restauración....	26
1.4.12.3	Plantación para sistema agroforestal.....	29
1.5	Usos.....	30
1.5.1	La madera.....	30
1.5.2	Los frutos.....	32
1.5.3	Las hojas.....	33
1.5.4	El tronco y la corteza.....	34
1.5.5	Las flores.....	35

CAPÍTULO 2.

2	LOS BIOFERTILIZANTES.....	36
2.1	Generalidades.....	36
2.2	Los microorganismos eficientes.....	38
2.3	Los microorganismos del EM.....	40
2.3.1	Bacterias ácido lácticas.....	41
2.3.2	Levaduras.....	41

2.3.3	Bacterias fotosintéticas.....	41
2.3.4	Actinomicetes.....	42
2.4	Los biodigestores.....	42
2.4.1	De régimen estacionario o de Batch.....	46
2.4.2	De régimen semicontinuo.....	46
2.4.3	Horizontales de desplazamiento.....	46
2.4.4	De régimen continuo.....	47
2.5	Fases de descomposición bacteriana sobre condiciones anaeróbicas.....	47
2.5.1	Fase de hidrólisis y fermentación.....	48
2.5.2	Fase de acetogénesis y deshidrogenación.....	48
2.5.3	Fase metanogénica.....	48
2.6	Aspectos importantes en la producción de biofertilizantes.....	50
2.6.1	Temperatura.....	51
2.6.2	Hermetismo.....	51
2.6.3	Presión.....	52
2.6.4	Tiempo de retención.....	52
2.6.5	Relación C/N.....	52
2.6.6	Porcentaje de sólidos.....	53

2.6.7	pH.....	53
2.6.8	Agitación.....	53
2.7	Beneficios de los biofertilizantes.....	54
2.8	Recomendaciones para uso de biofertilizantes.....	57

CAPITULO 3.

3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	58
3.1	Localización del proyecto.....	58
3.2	Materiales.....	59
3.2.1	Material biológico.....	59
3.2.2	Biofertilizantes líquidos.....	60
3.2.3	Biodigestor.....	60
3.2.4	Vivero.....	60
3.3	Metodología.....	61
3.3.1	Elaboración del biodigestor.....	61
3.3.2	Activación de los microorganismos eficientes.....	62

3.3.3	Biofertilizante preparado a base de estiércol de vaca.....	63
3.3.4	Biofertilizante preparado a base de estiércol de vaca.....	64
3.3.5	Fase de vivero.....	66
3. 4	Diseño Experimental.....	69
3.4.1	Hipótesis.....	69
3.4.2	ADEVA.....	70
3.5	Resultados.....	75
3.5.1	Resultados de análisis de laboratorio de agua.....	75
3.5.2	Resultados de análisis de laboratorio de macro y micro nutrientes al sustrato.....	76
3.5.3	Resultados de análisis físico-químicos a biofertilizantes de vaca y chivo.....	77
3.5.4	Resultados de pruebas estadísticas.....	78

CAPITULO 4

4.	ANALISIS Y RESULTADOS.....	85
4.1.	Análisis de agua.....	85

4.2.	Análisis del sustrato.....	86
4.3.	Análisis de biofertilizantes de vaca y chivo.....	87
4.4.	Análisis de pruebas estadísticas.....	89

CAPITULO 5

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
----	-------------------------------------	----

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

cm	Centímetros
D.C.A.	Diseño completamente al azar
E.M.	Microorganismos eficientes
m	Metro
mm	Milímetros
T _n	Tratamiento n
Sig.	Significancia
<i>P. juliflora</i>	<i>Prosopis juliflora</i>
sp.	Especie
u	Unidades
°C	Grados centígrados
Abs.	Absoluto
ADEVA	Análisis de varianza
Aprox.	Aproximadamente
AUDPC	Área bajo la curva
CIBE	Centro de investigaciones Biotecnológicas del Ecuador
SDT	Sólidos disueltos totales
MO	Materia orgánica
g	Gramos
Ha	Hipótesis alternativa
Ho	Hipótesis nula
μ	Media
Kg	Kilogramos
Lb	Libra
Lts.	Litros

SIMBOLOGÍA

C.M.	Cuadrado medio
FC	Factor de corrección
G.L.	Grados de Libertad
r	Número de réplicas
S.C.	Suma de cuadrados
t	Número de tratamientos
X_i	Observación # i
Σ	Sumatoria

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Localización del vivero según el mapa de la zona

Figura 3.2 Biodigestor de tipo estacionario o de Batch

Figura 3.3. Vivero de algarrobo

Figura 3.4. Área bajo la curva de una planta en n días

Figura 3.5. Valores medios de la variable número de hojas transformada a Ln, con 2 rangos de significación según Tukey.

Figura 3.6. Valores medios de la variable altura de planta transformada a Ln, con 2 rangos de significación según Tukey

Figura 3.7. Tendencia de mortalidad de algarrobo por día de evaluación.

Figura 3.8. Porcentaje de mortalidad de algarrobo en fase de vivero

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Arreglo de los tratamientos mediante sorteo aleatorio

Tabla 2. Análisis de agua de riego.

Tabla 3. Resultado de análisis de suelos.

Tabla 4. Análisis físico-químicos realizados a los biofertilizantes

Tabla 5. Análisis de varianza de la variable número de hojas transformada a Ln.

Tabla 6. Análisis de varianza de la variable altura de planta transformada a Ln.

Tabla 7. Análisis de varianza de la variable mortalidad.

INTRODUCCIÓN

Históricamente las zonas ubicadas en la Cordillera Chongón Colonche, especialmente la comuna Sinchal–Barcelona comprendida en la parte baja de la cuenca del río Valdivia, ha sido explotada por el alto contenido de recursos naturales, principalmente el maderero.

El creciente aumento de la demanda regional de productos forestales, procedente en mayor escala por aquellas regiones que presentan carencia de estos recursos, como son los centros urbanos, sumado a la expansión de las áreas agrícolas, con énfasis en las actividades artesanales de paja toquilla en el caso de la comuna donde se realizará la investigación, vienen constituyendo una seria amenaza al medio ambiente, principalmente en relación a los recursos forestales.

Dentro de ese contexto, y con la creciente concientización de la importancia de los árboles en la estabilidad económico, social, ecológica y productiva de los bosques, se estimula la reproducción de algarrobo (*Prosopis juliflora* (SW). DC.) en fase de vivero, mediante la aplicación de biofertilizantes líquidos a base de estiércoles de vaca y chivo, para de esta manera propagarlos en zonas afectadas por la tala indiscriminada.

El éxito de utilizar biofertilizantes, se basa en el crecimiento que están teniendo y en las consecuencias positivas; que se manifiestan por el aumento de la diversidad biológica, mejoramiento de la estructura del suelo, seguridad para quien los aplica, además de un mejoramiento en las condiciones económicas y sociales de la población etc.

CAPÍTULO 1

1. EL ALGARROBO

1.1 Descripción taxonómica

1.1.1 Nombre científico

Prosopis juliflora (Sw.) DC.

1.1.2 Clasificación Taxonómica

Reino:	Plantae
División:	Fanerógama Magnoliophyta
Clase:	Dicotiledónea Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familia:	Fabaceae
Subfamilia	Mimosoideae
Tribu:	Mimoseae
Género:	Prosopis
Especie	<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC

1.1.3 Sinonimia

Acacia cumanensis Humb. et Bonpl. ex Willd.; *Acacia juliflora* (Sw.) Willd.; *Acacia salinarum* (Vahl) DC.; *Algarobia juliflora* (Sw.) Heynh.; *Mimosa juliflora* Sw.; *Mimosa salinarum* Vahl; *Neltuma bakeri* Britton et Rose; *Prosopis bracteolata* DC.; *Prosopis chilensis* (Molina) Stuntz; *Prosopis cumanensis* (Humb. et Bonpl. ex Willd.)

Kunth (2), *P. flexuosa* DC (6). *Prosopis dominguensis* DC.;
Prosopis glandulosa Torr.

1.1.4 Nombres comunes

Acacia de catarina (Nicaragua); algarrobo (México, Ecuador, Perú);
aromo (Costa Rica, Panamá); campeche negro (Guatemala);
carbón (Caribe); catzimec (Guatemala); espino montreno (Costa
Rica); espino ruco (Honduras); herrero (Panamá); huizache
(Guatemala); manca caballo (Panamá); mezquite (México) (1);
nacascalote (Guatemala).

1.2 Distribución

1.2.1 Ecológica

Esta especie se desarrolla desde el nivel del mar hasta 1500 m. de
altitud, normalmente a 700m, en climas cálidos (Aw) y semicálidos
(A(C) w), con precipitaciones entre los 150 y 1600mm anuales,

aunque su mejor desenvolvimiento productivo para vainas ocurre en regiones que precipitaciones en torno a los 300-500 (6, 7, 21).

Resiste estaciones secas con periodos de 6 a 8 meses, inclusive llegando a soportar 10 meses de sequía. Se adapta bien a lugares con temperaturas superiores a los 20° C. Necesita insolaciones intensas, y humedad relativa entre 60 y 70% (6, 21).

Crece en gran variedad de suelos, gracias a la capacidad que tienen sus raíces de desarrollarse. Progresa en suelos: arenociliosos, salinos, erosionados, rocosos, arenosos, suelos de aluvión, litologías de yesos, calizas y lutitas, incluso en suelos muy pobres como dunas secas y guijosas. Crece sin dificultad en suelos con un pH de 6.5 a 8.3 y es capaz de crecer en suelos sódicos con pH de hasta 10.4 (6, 7, 21).

Gracias a todas estas características, en particular, es considerada como una especie con potencial para restablecer la fertilidad y la productividad de los suelos sódicos degradados.

1.2.2 Natural

Es un componente característico en las zonas áridas desde el sur de Estados Unidos, a través de México (1, 5, 7), América Central, el norte de América del Sur (Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú), hasta la Patagonia (8). Siendo que en América del Sur están concentrados aproximadamente el 70 por ciento de las especies del género, y de las cuales el 93 por ciento son nativas de Argentina. También se encuentra en el Caribe, de hecho se piensa que fue traída al continente con las primeras peregrinaciones humanas (6).

En el Ecuador se encuentran las mayores concentraciones en las provincias de Manabí, Guayas, El Oro, Península de Santa Elena y el Sur de Esmeraldas.

1.2.3 Introducida

El algarrobo fue introducido en muchas áreas secas tropicales de África, Asia y Australia y probablemente en el Caribe siglos atrás.

En India fue introducida hace más de 100 años para estabilización de dunas y como combustible (6). Además fue introducida para cultivos de forraje y madera en Brasil, Sudán, partes del Sahel, África del Sur e India (9, 20).

Se ha plantado en muchas zonas áridas de todo el mundo por sus usos múltiples y su adaptación al clima árido (7). En América Central se ha plantado en forma experimental, en el caso de Guatemala y Panamá, se han utilizado densidades de 2500 árboles/ha (6). En América del Sur, especialmente en Brasil viene siendo cultivada en una región del nordeste como forrajera arbórea y como planta para reforestar (8).

1.3 Fenología

1.3.1 Forma

Árbol o arbusto espinoso, rara vez inerme caducifolio, de 2 a 12 m (hasta 15 m) de altura con un diámetro a la altura del pecho (DAP) que varía de 40 cm. a 80 cm., con fuste torcido (1, 6). Bajo

condiciones favorables de suelo y humedad, tienen hábito arbóreo y en condiciones de aridez extrema, arbustivo (7).

1.3.2 Copa

Amplia y extendida, con 8 a 12 m de diámetro, a veces en forma de sombrilla. En árboles aislados, la copa es muy amplia, con ramas tocando el suelo en todas direcciones (6).

1.3.3 Tronco y Ramas

Tronco corto y torcido, monopódico o ramificado desde la base. Ramas jóvenes con espinas. Ramas terminales dispuestas en zigzag, con espinas rectas pareadas, de 15 a 45 mm de largo y nodales (7).

1.3.4 Hojas

Compuestas, alternas, bipinnadas, comúnmente con pocos pares de espinas opuestas (10), de 11 a 19 cm de largo; pecíolo

ensanchado en la base de 3 a 9 cm. de largo (7); pinnas de 1-3 pares por hoja de 8 a 14 cm. de largo; folíolos 13 a 16 pares por hoja, 19 a 22 mm de largo (7). Perennifolio, aunque presenta pequeños picos de senescencia de hojas en el mes de enero (3).

1. 3.5 Flores

Inflorescencias dispuestas en racimos espigados, cilíndricos, 6 a 8 cm de largo, en las axilas de las hojas; cáliz pequeño, ancho campanulado, de 1.3 a 1.5 mm de largo; corola amarillenta, de 3 a 4 mm de largo, tiene 5 pétalos, libres, linear-elípticos (7). La floración tiene una duración de seis meses y se presenta en el periodo de noviembre a abril (3).

1. 3.6 Frutos

Vaina fibrosa e indehiscente, recta, linear, subcilíndrica, de 11 a 21 cm de largo por 0.8 a 12 mm de ancho, amarilla-violácea, con estrías rojas longitudinales, articulaciones subcuadradas (7). Semillas ovoides, duras, de 5-6mm de largo, color castaño, lisas y

brillantes. Con mesocarpo carnosos; endocarpo dividido en compartimentos para una semilla, segmentos coriáceos a leñosos; contienen 10 – 20 semillas ovoides (6), achatadas, con línea fisural en las facetas, duras y marrones (10).

La maduración del fruto tiene una duración de tres meses, de marzo a abril, en ese último se presenta la mayor cantidad de frutos maduros; su dispersión ocurre a finales de mayo (3).

1. 4 Silvicultura y Manejo

1. 4.1 Edad de fructificación

Los árboles de algarrobo inician su fructificación en una etapa relativamente temprana, a los 3 años, Durante los primeros años la semilla producida tiene un porcentaje elevado de esterilidad, razón por la cual no se recomienda recolectar semilla de árboles jóvenes. Lo recomendable es cosechar las semillas de árboles que tengan 8 o más años de edad (7). El tipo de semilla del algarrobo es ortodoxa, tiene alrededor de 8,000 a 24,500 semillas por Kg, con un peso por semilla de 0.033 ± 0.005 g (7).

1. 4.2 Recolección de vainas

La recolección de las vainas maduras se puede efectuar inmediatamente después de su caída (6, 7), cuando están plenamente desarrolladas, cuando presenten una coloración café verdosas (6), pero también pueden recolectarse verdes. Es recomendable cosecharlas antes de que sean atacadas por los insectos. Las semillas no requieren limpieza.

1. 4.3 Obtención de los frutos

Como los frutos son indehiscentes, la extracción de las semillas se realiza manualmente, eliminando las 3 cubiertas que rodean a la semilla. La primera, exocarpo, es una cubierta coriácea que puede eliminarse manualmente. La segunda, mesocarpo, es una cubierta dulce y pegajosa, ésta se elimina lavando las vainas en agua, se ponen en cubetas con agua y se restriegan manualmente, hasta que solamente quede la tercera capa que envuelve las semillas. Posteriormente se ponen a secar al sol, de 3 a 5 días, durante 5 ó

6 horas. Una vez secas la tercera capa, endocarpo, se desprende con la ayuda de unas pinzas (4).

1. 4.4 Método de selección de la semilla

La selección se realiza manualmente, desechando los restos de los frutos y las semillas con orificios y coloraciones anormales. Una vez limpias se ponen en bolsas de papel y a la sombra para que las semillas terminen de secarse, entre 15 y 30 días (2).

Debido a que este proceso es en cierta parte difícil, se puede utilizar morteros de madera para separar las semillas de las vainas, como lo hacen en Sudán (6). O a su vez se puede sembrar con los pedazos de vaina todavía adheridos.

1. 4.5 Almacenamiento

Por ser una semilla ortodoxa, presentan una longevidad que oscila entre 3 y 15 años, con un porcentaje de germinación luego de este período del 94%. Su almacenamiento óptimo es con un contenido de humedad de 17 % y a una temperatura de 26 a 32 °C. Se

reportan porcentajes de 60% en semillas secadas al aire y almacenadas, después de 50 años (6, 7).

1. 4.6 Tratamientos pregerminativos

La capacidad germinativa de las semillas es superior al 90% después de tratarla con cualquiera de los siguientes tratamientos pregerminativos.

- Inmersión en agua corriente por 24 a 48 horas.
- Inmersión en agua a 75 °C durante 3 ó 6 minutos (7).
- Inmersión de la semilla en agua hirviendo, se retira de la fuente de calor y se dejan en el agua de 6 a 72 horas (2, 4, 6, 7).
- Escarificación con ácido sulfúrico al 20 %, de 10 a 60 minutos o remojar en ácido concentrado 20 minutos (6, 7).
- Paso por el tracto digestivo de animales (7).
- En la India se ha ensayado la escarificación por impacto físico en el área estrofiolar de la cubierta complementado con sacudida de las semillas en un bote por 15 minutos (7).
- Limpieza de las semillas con hidróxido de sodio (7).

- Se sugiere secarlas a 32 °C y después escarificarlas.
- Escarificación mecánica con corte con el cuchillo en el lado romo de la semilla y después se cubre la herida con fungicida de amplio espectro. Es un tanto lento, pero se han obtenido porcentajes de germinación de hasta el 100% en 4 días. Es útil para cantidades pequeñas o muestras para investigación (6, 7).

1. 4.7 Propagación

Las semillas a utilizar deben provenir de individuos sanos (libres de plagas y enfermedades), vigorosos, y con buena producción de frutos. Con esto se pretende asegurar que las plantas obtenidas de esas semillas hereden las características de los parentales (4).

Como ocurre en casi todas las especies, existen 2 formas de reproducción: la asexual y la sexual.

1. 4.8 Reproducción asexual

Se puede obtener a partir de:

1. Acodo aéreo: las raíces aparecen en unas 6 u 8 semanas (7).
2. Brotes o retoños (tocón): rebrota rápidamente después del corte, rebrotes de raíz (7).
3. Estacas ó esquejes: se recomienda utilizar estacas de 5 cm (con 2 nudos), sumergidas en un enraizador y colocadas en un propagador sencillo, a las 5 semanas tienen un 96 % de enraizamiento. El material joven enraiza con mayor facilidad. Cortes de tallo, esta técnica produce mayor cantidad de propágulos asexuales que ninguna otra; se requieren solamente 8 horas de labor para producir 2,000 cortes.
4. Injerto: existe compatibilidad entre las especies de Norte América (*P.glandulosa* y *P. articulata*), Sud América (*P. alba* y *P. chilensis*), y las tropicales (*P. juliflora*) (7).
5. Cultivo de tejidos: para este género no se tienen estudios avanzados que permitan este tipo de reproducción (7).

1. 4.9 Reproducción sexual.

Se refiere básicamente a árboles provenientes de:

1. Semilla (plántulas). Para la reproducción de éstas, por lo general se requiere de un proceso de semillero, el mismo que comprende: siembra, repicado y etapa de vivero. Por lo general no siempre todas las semillas sembradas germinan en su totalidad, por lo cual se debe aumentar de 10 a 25% más de cantidad de semillas calculando mediante el porcentaje de germinación (7).
2. Siembra directa. La mayoría de intentos para establecer plantaciones mediante este tipo de reproducción, por lo general no llegan a buenos términos, debido principalmente a la depredación de semillas por parte de animales y por condiciones ambientales desfavorables (7,13).
3. Regeneración natural. La regeneración natural por semillas, la dispersión y el establecimiento de las plantas se efectúan sin la intervención directa del hombre (7).

Las semillas pueden provenir de los árboles cortados en el mismo terreno, de rodales cercanos o de árboles dejados en el terreno.

En la regeneración natural por semillas, la tala del bosque puede ser brusca, como ocurre en el caso de la corta total, o la corta total de árboles padres. La regeneración natural puede ser inducida también mediante cortas parciales (13).

1. 4.10 Etapa de semillero

Las semillas después de un buen proceso de escarificación deben ser llevadas a fase de semillero, donde la siembra se debe realizar en:

1. Cajas de germinación.
2. Eras levantadas.

Las cajas deben ser fáciles de manejar. Un tamaño de 50x30x10 cm. es conveniente. Las eras pueden tener una longitud variable, pero se recomienda que no sobrepasen 1.2 m, de esta manera se facilita la siembra y el repicado de las plántulas por ambos lados (13).

Los semilleros necesitan sombra durante los primeros días de germinación. El tipo de sombra a utilizarse debe excluir cualquier tipo de de daño por irrigación (13)

Las semillas deben ser sembradas a una profundidad media de 0,5 a 1,0 cm. La emergencia se inicia 5 días después. Se pueden usar dos o tres semillas por recipiente, si la siembra se realiza en bandejas germinadoras (11, 12).

La siembra puede hacerse en camas, no directamente en fundas, sean estas de de arena o de en un tipo de sustrato que permita que el agua filtre sin ningún inconveniente. El sustrato debe presentar consistencia adecuada para mantener la semilla en su sitio, el volumen no debe variar drásticamente con los cambios de humedad, textura media para asegurar un drenaje adecuado y buena capacidad de retención de humedad. Fertilidad adecuada, libre de sales y materia orgánica no mineralizada. Una mezcla 3:2:1 de arena media, arcilla y limo es adecuada para lograr buenas características de drenaje, retención de agua y fertilidad (2). En Colombia se recomienda una mezcla 2:1 de arena y tierra,

o turba, para las camas de germinación, para lograr una mejor retención de humedad (6).

Después de la germinación y cuando las plántulas alcancen de 3 a 8 cm. de altura o posean de 2 o 3 pares de hojas, se debe proceder a repicarlas en fundas aquellas que estén más vigorosas.

El objetivo del repicado es proveer a las plantas suficiente espacio para que se desarrollen. Se puede transplantar en eras, recipientes o en fundas. Como regla general en cualquier especie, cada plántula debe tener un espacio de 7 x 7 cm (13).

Para el caso de algarrobo, debido a las largas raíces que posee, se deben usar fundas plásticas largas o contenedores abiertos en el fondo para promover la autopoda de las raíces, y evitar que las plantas permanezcan demasiado tiempo en el vivero (6). Se recomienda que las dimensiones de las fundas plásticas que tengan 8 cm. de ancho y 20 cm. de alto (14). Se recomiendan recipientes de mayor altura en función de la velocidad de crecimiento de las raíces (15).

1. 4.11 Etapa de vivero

El vivero debe estar ubicado en una región con condiciones climatológicas similares a las del área donde serán plantados los árboles, además se debe considerar el suelo, el transporte y la mano de obra (13).

Preferiblemente el terreno debe ser plano. El sustrato requerido debe tener buena estructura y drenaje y un pH entre 5.5 y 6.5 (13).

Un vivero requiere de abundante agua, principalmente para la preparación de semillas, germinación y durante el trasplante. Sin embargo la mayor cantidad de agua se utiliza para el riego de las plantas. Por otra parte se requiere que las fundas que contienen las plantas y el piso sobre el cual permanecen sean capaces de drenar el agua de riego (13).

Se sugiere mantener un 60% de sombra, mediante la colocación de sarán o algún material que aporte con oscuridad en los

primeros 15 días después del repique, y eliminarla progresivamente (6).

Es indispensable tener un buen control sobre daños físicos, plagas y enfermedades.

El daño más frecuente es la desecación, el viento, un periodo de sequía o la insolación excesiva pueden causarla. Una buena ubicación del vivero y el establecimiento de cortinas rompevientos pueden disminuir el daño causado por los vientos.

En caso de un período de sequía o insolación excesiva, se debe sombrear las plantas cuando se presenten signos de marchitez. Un punto muy importante a considerarse es el riego en tempranas horas de la mañana o cuando la insolación sea baja, debido a que se pueden quemar las hojas por el efecto lupa (13).

Además de estos inconvenientes se presenta el daño causado por:

- Hormigas cortadoras: pueden ocasionar daños considerables en corto tiempo. Utilizan las hojas recortadas en el nido para cultivar hongos con los cuales se alimentan.
- Orugas defoliadoras, enrolladoras, plegadoras y minadoras: se translocan por la planta.
- Insectos chupadores, como áfidos y cóccidos, suelen causar daños en el vivero succionando la savia de las hojas y del tallo para alimentarse, de esta manera la planta se debilita y pierde crecimiento.

Aproximadamente después de 60 a 70 días de la siembra, las plantas alcanzan una altura de 20 a 30 cm. y están listas para su trasplante definitivo al campo (11, 12). En algunos casos esta altura se alcanza a los 4 o 6 meses (6).

A medida de que las plantas se desarrollan se deben disminuir el número de riegos y dejar las plantas a plena exposición solar. Con esto las plantas comienzan a adquirir mayor resistencia y justificación, facilitando el proceso de adaptación al campo, donde dependerán exclusivamente de las condiciones naturales de humedad y fertilidad del suelo (6, 7).

1. 4.12 Plantación

Independientemente del tipo de plantación que se pretenda realizar con esta especie, se debe procurar obtener las condiciones óptimas para irrigar las plantas en el campo. Debe procurarse hacer coincidir el trasplante con el inicio de las lluvias en la región. Los hoyos, preferentemente, deben ser hechos en microcuencas, o de otra manera mantener un espacio sin rellenar, dejando las plántulas cerca de 5cm abajo del borde del hueco, creando así una pequeña área de captación de agua (13).

Los hoyos deben ser profundos (30 x 30 x 30 cm.), y se recomienda una fertilización base, la cual ayudará al crecimiento radicular. En el momento del trasplante, las fundas plásticas deben ser retiradas para evitar la malformación de las raíces y el enroscamiento. (11).

Se pueden diferenciar los siguientes tipos de plantaciones, dependiendo de su propósito:

1.4.12.1 Plantación Comercial, Productiva o Experimental.

En Estados Unidos se siembran con pastos nativos para mantener la densidad óptima y mejorar la producción de madera (7)

El algarrobo viene siendo cultivado en una región del nordeste de Brasil como forrajera arbórea y como planta para reforestar. El potencial de esa leguminosa para la reforestación está en las características de precocidad, resistencia a la sequía, producción de madera de buena calidad para diversos fines y la producción de vainas de elevada aceptabilidad y valor nutritivo, con la ventaja de fructificar en época seca (16).

Para setos se puede realizar siembra directa sembrando en dos líneas, a 50 cm entre líneas y 10cm dentro de la línea. Si se usan plantas en fundas plásticas, se pueden plantar igualmente en dos líneas

separadas 50cm pero a 30cm de distancia entre plantas dentro de la línea. Para plantaciones para producción de leña o control de erosión, se ha utilizado de 1x1m a 4x4m. En plantaciones experimentales en Guatemala y Panamá se han utilizado densidades de 2500 árboles/ha (6).

En sitios favorables, la producción puede ser mucho mayor, de 5-15 toneladas/ha/año e incluso mayores. En áreas con precipitaciones anuales de 1200 mm en Kenya, la producción de biomasa fue de 216 tm/ha a los seis años de edad (36tm/ha/año) (6).

1.4.12.2 Plantación para reforestación o restauración

Se recomienda para repoblación forestal de zonas secas y áridas en regiones tropicales y subtropicales. Es una especie con potencial para reforestación productiva en zonas degradadas de selva. Ha dado magníficos resultados en zonas secas de Australia y Sudáfrica. En la India se ha usado para reforestar

suelos sódicos, reduciendo el pH de 9.5 a 7.9, aumentando la capacidad de retención de agua. También ha sido muy útil para recuperar suelos salinos y grandes extensiones de páramo en Tamil Nadu (7).

En otras investigaciones se evaluó el efecto de la asociación *Leucaena* y Algarrobo con pasto Estrella sobre la composición química del suelo y la influencia indirecta en la cantidad y calidad de forraje total producido (Estrella, *Leucaena* y Algarrobo). Vale la pena resaltar que la gramínea asociada a las leguminosas Algarrobo y *Leucaena* sin urea, alcanzó contenidos de proteína similares a la gramínea asociada con Algarrobo y 400 kg/ha/año de fertilización nitrogenada. Esto evidencia las bondades de esta leguminosa en la fijación de nitrógeno atmosférico y en el aporte de materia (17).

La asociación del pasto Estrella con leguminosas arbustivas (*Leucaena*) y arbóreas (Algarrobo), representa una mejora de las condiciones del suelo, lo que se traduce en una mayor producción y calidad de forraje (17).

El algarrobo puede crecer en sitios secos y alcalinos, determinando de esta manera una rápida restauración de los suelos, a pesar de las condiciones adversas (18).

Gracias a la capacidad que tiene en cuanto a fijación biológica del nitrógeno atmosférico y mejoramiento de la fertilidad de suelos combinados con su capacidad para establecerse y crecer rápidamente en ambientes áridos con suelos salinos o de baja fertilidad, se reconocen como las principales ventajas de su introducción en plantaciones (19).

Algunos autores destacan que, salvo unas pocas excepciones, en los programas de forestación

llevados a cabo con especies exóticas, casi invariablemente ésta creció más vigorosamente que los árboles indígenas. Al menos en el corto plazo, que introducido en Rajasthan, India, superó en crecimiento a las especies locales (19).

1.4.12.3 Plantación para sistema agroforestal

Las plantaciones pueden ser puras o asociadas con otros cultivos, de esta manera se convierten en plantaciones agroforestales. Se pueden con cultivos como por ejemplo maíz, nopal forrajero (*Opuntia* sp.) y gramíneas (34). El espaciamiento con el objetivo de producción de leña debe ser en torno a 5 x5 m, y para la producción de forraje (vainas) es aconsejado un mínimo de 10 x 10m (11, 12).

El algarrobo se considera una especie multipropósito, en especial para el aprovechamiento de leña en

zonas árida y semiárida. (Haití). Se le ha combinado con éxito con la gramínea *Leptochloa fusca*.

De la misma manera se reportan estudios de la presencia de árboles de la especie sobre la disponibilidad y calidad del forraje de una pastura de capim buffel (*C. ciliaris* var. *Biloela*), con énfasis en los aspectos ecofisiológicos y nutricionales, buscando comprobar la viabilidad de ese sistema silvipastoril (16).

1.5 Usos

1.5.1 La madera

La madera es utilizada para construcciones rurales y fabricación de herramientas (2,3,5); es catalogada como leña de excelente calidad. La madera es dura, moderadamente pesada (gravedad específica 0.7-0.8), de textura gruesa y grano ligeramente entrecruzado. La albura es amarillenta y el duramen café, con finas

líneas oscuras. Olor fragante. Fácil de trabajar, deja buen acabado, un cierto lustre y es muy durable.

Es excelente para leña y carbón, con un alto valor calorífico, arde lentamente en forma pareja y mantiene bien el calor, produce buenas brasas y poco humo, tarda 3-4 semanas en secar y al cortarla raja fácilmente (2, 3, 5, 6).

La madera se usa por su durabilidad para postes de cercas y construcciones rurales, especialmente en Guatemala. Por su dureza se utiliza para durmientes, pisos de parquet, marcos de puertas y ventanas, mangos de herramientas, muebles y carpintería ligera, arados, carretas. En México se usa además para fabricar hormas de zapato y fustes para sillas de montar, y en Argentina se usa en la fabricación de toneles para alcoholes y vinos. En India se ha encontrado favorable para la producción de pulpa para papel (6).

1.5.2 Los Frutos

Los frutos tuvieron una gran importancia en la alimentación de los pueblos indígenas. Se sabe que en Perú han sido utilizados durante siglos, de la misma manera en México los Chichimecas utilizaban la harina de los frutos secos para hacer tortas (mezquitamales) o adicionados con agua para hacer bebidas (mezquitatole) (6, 7).

En la alimentación humana el algarrobo es utilizado para la fabricación de harinas y mieles, en sustitución de algunos alimentos convencionales como la harina de trigo, café y panela (20).

De la cocción de las semillas se obtiene una melaza, debido al alto contenido en azúcares, compuesta de metoxiglucurónico, galactosa y arabinosa. Esta melaza se utiliza para fabricar dulces, pastas alimenticias, mucílagos (6, 7)

El follaje y los frutos son utilizados como forraje para ganado bovino y caprino, con un 30 a 40% de azúcares, 45 a 55% de carbohidratos, 13% de contenido en proteína bruta (6), y digestibilidad arriba del 74% (11); de tal manera, se utilizan en harinas como complemento alimenticio. Son fuente importante de carbohidratos y proteína, principalmente en las regiones más secas.

Las vainas secas molidas tienen potencial industrial como alimento para pollos (6).

Por otra parte también se utilizan la harina en un proceso de fermentación con agua para la obtención de una bebida embriagante parecida a la cerveza (7).

1.5.3 Las hojas

Las hojas también se emplean como forraje, con un contenido en proteína aun mayor que el fruto, llegando al 19%, digestibilidad de 59% y taninos de 1.9% (6, 11). Sin embargo, no son muy

palatables, excepto los ápices, por lo que la especie puede usarse en setos y cercas vivas (6).

En México se usa las yemas foliares, hojas y cáscaras para el empacho, insolación, dolor de muelas y manchas de la cara. El jugo de las hojas también se considera curativo para algunas afecciones oculares y de la cocción de estas se obtiene el "bálsamo de mezquite", útil para las mismas afecciones (6)

1.5.4 El tronco y corteza

La corteza y el corazón del tronco contienen de 6 a 7 % de tanino. Se aprovecha para curtir pieles; los exudados frecuentemente se utilizan para sustituir la goma arábica (1, 2, 6). Los exudados de hoja, corteza, raíz y flor son empleados en medicina humana.

El tronco es utilizado en la industria farmacéutica, textil, de dulces y pastas alimenticias, mucílagos y betunes. Esta resina también se usa en cocimientos para curar la disentería o algunas afecciones de los ojos (6).

1.5.5 Las flores

Tienen un excelente potencial apícola (1,3), incluso se han establecido plantaciones de esta especie para utilizarse con este fin (5). El néctar es muy valioso para producir miel de alta calidad. Las flores de la variedad glandulosa producen una miel excelente. El árbol produce suficiente néctar para obtener un kilo de miel (7).

CAPÍTULO 2

2. LOS BIOFERTILIZANTES LÍQUIDOS

2.1 Generalidades

También conocidos como “bioles” o “bioabonos”, son sustancias líquidas orgánicas que se obtienen mediante la fermentación de estiércoles, plantas y otros materiales orgánicos en medios líquidos (agua) y que algunas veces son enriquecidos con sales minerales naturales (22, 23).

Los biofertilizantes son productos que están formados por organismos vivos o en estado de latencia (esporas), los mismos que liberan metabolitos que se componen de proteínas, enzimas, antibióticos, vitaminas, toxinas, fenoles, esteroides y ácidos, inclusive de acción fito-

hormonal (23). Éstos mejoran la nutrición de las plantas en los suelos y son capaces de realizar funciones como:

- Fijar Nitrógeno.
- Movilizar Fósforo.
- Potenciar la acción de algunos Nutrientes.
- Producir sustancias activas.

Los biofertilizantes son elaborados con diferentes tipos de microorganismos, que tienen efectos positivos sobre los procesos de descomposición y síntesis que ocurren en el suelo. Dichos microorganismos se colocan en medios de cultivo, para posteriormente adicionarles sustratos inertes, que aportan energía para su supervivencia y multiplicación (26). Tal es el caso de los microorganismos eficientes.

Uno de los mejores ejemplos son las bacterias *Rhizobium*, que toman el abundante nitrógeno del aire y lo convierten en amonio, con el cual nutren de nitrógeno a las plantas leguminosas (24, 25).

2.2 Los microorganismos eficientes

Los microorganismos eficientes (EM "Effective Microorganisms"), son de origen Japonés y son uno de los más usados por agricultores que practican la agricultura orgánica. Son una mezcla de varios microorganismos benéficos (aerobios y anaerobios). Aplicado al suelo sirve como:

- Corrector de salinidad: al tener funciones de intercambio de iones en el suelo y aguas duras, facilita el drenaje y lavado de sales tóxicas para los cultivos (Sodio y Cloro).
- Aumento de colonias benéficas, desplazando poco a poco a los patógenos (elimina enfermedades del suelo).
- Mejorador de las características físico químicas del suelo.
- Desbloqueador de suelos: pues permite solubilizar ciertos minerales tales como la cal y los fosfatos.
- Acelerador de la descomposición de los desechos orgánicos (Bioles, Compost, Bocashi, Vermicompost) por medio de un proceso de fermentación.

Hoy en día se realiza la captura de microorganismos según la localidad donde se requiere hacer agricultura. De esta manera existen metodologías a seguir para capturar estos ML (microorganismos locales).

Los materiales más utilizados son:

1. Una tarrina de Plástico.
2. Un Pedazo de tela de nylon.
3. 5 onzas de arroz cocido (sin aceite solo con sal)
4. 60 CC de melaza.
5. 100 CC de agua.

Se coloca el arroz cocinado dentro del tarro de plástico. Posteriormente se tapa la boca del tarro con el pedazo de nylon y se asegura bien. Las trampas se deben colocar en lugares poco perturbados y que no hayan sido manipulados con productos químicos. Se recomienda colocarlas debajo de la copa de árboles o junto a un talud húmedo, poniendo sobre el nylon materia orgánica semidescompuesta (37).

El tiempo de recolección de las trampas depende mucho de las condiciones climáticas de la localidad, pero en resumen se deben desenterrar los tarros plásticos después de 2 semanas. El arroz para ese entonces estará impregnado de bacterias orgánicas (37).

Para activar estos microorganismos se debe licuar el arroz y mezclarlo en una solución de a base de 1 litro de melaza y 3 litros de agua pura cocinada y fresca. Esta solución es llamada solución madre (37).

Cuando se realiza un buen proceso de de fermentación, no habrá diferencia entre utilización de microorganismos locales o importados independientemente de la zona (38).

2.3 Los microorganismos del EM.

El E.M. está compuesto principalmente por bacterias ácido lácticas, levaduras, bacterias fotosintéticas y Actinomicetes.

2.3.1 Bacterias ácido lácticas

Producen ácido láctico a partir de azúcares que son sintetizados por las bacterias fotosintéticas y levaduras. El ácido láctico puede suprimir microorganismos nocivos como el *Fusarium* sp. Ayuda a solubilizar la cal y el fosfato de roca (37).

2.3.2 Levaduras

Degradan proteínas complejas y carbohidratos. Producen sustancias bioactivas (vitaminas, hormonas, enzimas) que pueden estimular el crecimiento y actividad de otras especies de EM, así como de plantas superiores (37).

2.3.3 Bacterias fotosintéticas

Pueden fijar el Nitrógeno atmosférico y el bióxido de Carbono en moléculas orgánicas tales como aminoácidos y carbohidratos, también sintetizan sustancias bioactivas. Llevan a cabo una

fotosíntesis incompleta, lo cual hace que la planta genere nutrimentos, carbohidratos, aminoácidos, sin necesidad de la luz solar, eso permite que la planta potencialice sus procesos completos las 24 horas del día (37).

2.3.4 Actinomicetes

Funcionan como antagonistas de muchas bacterias y hongos patógenos de las plantas debido a que producen antibióticos (efectos biostáticos y biocidas). Benefician el crecimiento y actividad del azotobacter y de las micorrizas (37).

2.4 Los biodigestores

Las excretas de los animales contienen nutrimentos que los cultivos pueden utilizar, pero también poseen altas concentraciones de coliformes fecales que producen enfermedades infecciosas, capaces de causar hasta la muerte en los humanos. Por ello, para utilizarlas como fertilizantes, es necesario darles un tratamiento que elimine estos agentes

infecciosos. Una forma de hacerlo es mediante la biodigestión. Al usar un biodigestor se utilizan los nutrientes contenidos en las excretas y, además, se reduce la contaminación ambiental, ya que convierte las excretas que contienen microorganismos patógenos como bacterias, protozoos, larvas, huevos, pupas de insectos, etc., en residuos útiles y sin riesgo de transmisión de enfermedades (29).

La digestión anaerobia es un proceso complejo desde el punto de vista microbiológico; al estar enmarcado en el ciclo anaerobio del carbono, es posible en ausencia de oxígeno, transformar la sustancia orgánica en biomasa y compuestos inorgánicos en su mayoría volátiles: CO₂, NH₃, H₂S, N₂ y CH₄ (30). Naturalmente ocurre en el tracto digestivo de animales y debajo de aguas estancadas o pantanos, pero también puede realizarse en depósitos cerrados herméticamente, llamados biodigestores.

Estos se utilizan cuando se quiere captar todos los productos obtenidos de la descomposición anaerobia (gases y sólidos), ya que al haber en su

interior un ambiente oscuro y sin aire se favorece el medio óptimo para el cultivo intensivo de bacterias anaerobias (31).

Después de pasar por el biodigestor, los residuos presentan alta calidad para uso como fertilizante agrícola, debido principalmente a los siguientes aspectos: disminución del contenido de carbono del material, pues la materia orgánica al ser digerida pierde exclusivamente carbono en forma de CH_4 y CO_2 , aumentando el contenido de nitrógeno, demás nutrientes y disminuyendo la relación C/N, lo que mejora las condiciones del material para fines agrícolas; mayores facilidades de movilización de biofertilizantes por los microorganismos del suelo, debido a que el material ya se encuentra en grado avanzado de descomposición lo que viene a aumentar la eficiencia del biofertilizante y solubilidad parcial de algunos nutrientes (27).

El uso de los biodigestores tiene ciertas ventajas, ya que a diferencia de la biodegradación aerobia, en este tipo de fermentación se aprovecha al máximo los productos que se generan en el proceso (gases y líquidos con

sólidos disueltos), especialmente el que se utiliza en la agricultura como fertilizante (29).

Los residuos orgánicos obtenidos después de la biodegradación anaerobia tienen mayor riqueza nutricional que los obtenidos en la biodegradación aerobia.

Sin embargo se debe considerar que el material orgánico obtenido en su mayor parte es líquido y siendo este aplicado al suelo, puede ocurrir la lixiviación de alguno de sus componentes, especialmente si se trata de suelos permeables. Se debe tener cuidado en el momento en que este se aplique, pues el suelo debe haber sido previamente humedecido, ya que en suelos secos existe gran pérdida de nitrógeno por volatilización (29).

Existen varios tipos de biodigestores según el modo de operación:

2.4.1 De régimen estacionario o de Batch

Son muy utilizados para obtener fertilizantes orgánicos. Estos consisten en tanques herméticos con una salida de gas. Por lo general son de materiales plásticos con tapas enroscables, se llenan una sola vez y se descargan cuando han dejado de generar gas (33).

2.4.2 De régimen semicontinuo

Se construyen enterrados y se cargan por gravedad una vez al día. El gas es almacenado en una campana colocada en la parte superior. (34).

2.4.3 Horizontales de desplazamiento

Se construyen enterrados semejantes a un canal, se operan a régimen semicontinuo, entrando la carga por un extremo del biodigestor y saliendo el efluente por el extremo opuesto (34).

2.4.4 De régimen continuo

Se utilizan principalmente para tratamiento de aguas negras; son plantas muy grandes que emplean equipos para proporcionar calefacción y agitación, son de tipo industrial (35).

La FAO propuso el “Biodigestor plástico de flujo continuo”, el mismo que es un prototipo denominado generador de gas y bioabono a partir de aguas residuales servidas. Está hecho de polietileno calibre 8 resistente a la luz ultravioleta (LUV), tiene capacidad para 9 m³ y el tiempo aproximado de retención para la digestión anaerobia de la materia orgánica diluida es de 30 a 40 días en zonas tropicales con temperaturas promedio de 30° C (36).

2.5 Fases de la descomposición bacteriana sobre condiciones anaeróbicas

La descomposición bacteriana anaeróbicas es afectada en 3 fases:

2.5.1 Fase de hidrólisis y fermentación

La materia orgánica es descompuesta y las bacterias liberan en el medio las llamadas enzimas extracelulares, quienes van a promover la hidrólisis de las moléculas solubles en agua, como grasas, proteínas y carbohidratos y las transforman en moléculas menores solubles (27, 29)

2.5.2 Fase de acetogénesis y deshidrogenación

Los alcoholes, ácidos grasos y compuestos aromáticos se degradan produciendo ácido acético, CO₂ e hidrógeno que son los sustratos de las bacterias metanogénicas (29)

2.5.3 Fase metanogénica

Se produce un rápido consumo de oxígeno, del nitrato y del sulfato por los microorganismos, produciéndose la metanogénesis. Las bacterias metanogénicas (producen metano como parte de su

metabolismo energético) actúan sobre el hidrógeno o dióxido de carbono, transformándolos en gas metano (CH₄). En estas condiciones, el nitrato se transforma en amonio y el fósforo queda como fosfato. También se reducen los iones férrico y mangánico, debido a la ausencia de oxígeno (30).

La concentración de hidrógeno juega un papel fundamental en la regulación del flujo del carbono en la biodigestión. Los microorganismos que en forma secuencial intervienen en el proceso son:

- Bacterias hidrolíticas y fermentadoras.
- Bacterias acetogénicas obligadas reductoras de protones de hidrógeno (sintroficas).
- Bacterias sulfato reductoras (sintroficas facultativas) consumidoras de hidrógeno.
- Bacterias homoacetogénicas.
- Bacterias metanogénicas.
- Bacterias desnitrificantes.

2.6 Aspectos importantes en la producción de biofertilizantes

No existe una fórmula estándar para la producción de biofertilizantes. Recetas variadas van siendo testadas e utilizadas por investigadores para fines diversos, especialmente en La China y La India, quienes son los mayores productores y consumidores de esta tecnología con más de 150 mil unidades instaladas, incluyendo la producción de biogas (gas metano CH_4). Los biofertilizantes vienen siendo utilizados en cultivos como: manzana, pera, uva, tomate, papas, hortalizas en general, banano, etc.

Un factor limitante para una buena fermentación puede estar asociado a la contaminación o alteración brusca del compuesto, o cuando el estiércol proviene de animales que han sido tratados con antibióticos. Por esta razón la adición de micronutrientes debe ser tratada de la manera más lenta posible, ya que esta práctica a la final puede tornarse inviable (28)

Para que se dé un buen proceso de digestión anaerobio, es necesario las bacterias encuentren las siguientes condiciones:

2.6.1 Temperatura

Las bacterias mesófilas completan su ciclo biológico en el ámbito de 15 a 40° C con una temperatura óptima de 35° C. Las bacterias termofílicas cumplen sus funciones en el ámbito de 35 a 60° C con una temperatura óptima de 55 oC. Para el biofertilizante hecho con estiércol, la mejor temperatura es 38° C, que es la temperatura de la panza (rumen) de los animales que pastan, sean estos conejos, camellos, vacas, venados o cabras (28, 29)

2.6.2 Hermetismo

El tanque en el cual se desarrolla el proceso debe estar herméticamente cerrado. Si el aire llegara a entrar en el biodigestor, contenido del mismo es afectado a tal punto que se desarrolla un proceso de pudrición (29).

2.6.3 Presión

Debido al proceso de fermentación que ocurre en el biodigestor, la presión aumenta. Una presión subatmosférica de 6 cm de agua dentro del biodigestor se considera la presión óptima (32).

2.6.4 Tiempo de retención

Se refiere al tiempo en que la materia orgánica es digerida por los microorganismos. Se ha observado que para tiempos largos de retención, se obtiene un afluente más degradado con excelentes características como fuente de nutrientes. Por otro lado si el tiempo de retención es corto, se obtiene un residuo de baja calidad fertilizante por haber sido parcialmente digerido (29).

2.6.5 Relación C/N

La relación óptima de C/N es de 30:1, cuando la relación es muy estrecha (10:1) hay pérdidas de nitrógeno asimilable, lo cual

reduce la calidad del material digerido. Si la relación es muy amplia (40:1) se inhibe el crecimiento debido a falta de nitrógeno (29)

2.6.6 Porcentaje de sólidos

El porcentaje óptimo de sólidos en la mezcla a digerir es de 7 a 9 y se consigue al diluir el material orgánico con agua (29).

2.6.7 pH

Indica la concentración de iones hidrógeno existente en la disolución del biodigestor y trata de medir la acidez. En digestores operados con estiércol de bovino, los valores óptimos de operación oscilan entre 6.7 y 7.5 con límites de 6.5 a 8.0 (29).

2.6.8 Agitación

Esta práctica es importante para establecer un mejor contacto de las bacterias con el sustrato.

En la fase de metanogénesis especialmente, se limita la velocidad de la cadena de reacciones, debido principalmente a la formación de micro bolas de metano y dióxido de carbono en torno a la bacteria metanogénica, aislándola del contacto directo con la mezcla en la digestión. Razón por la cual la agitación del biodigestor es una práctica recomendada (27).

2.7 Beneficios de los biofertilizantes

Los biofertilizantes aplicados al suelo ejercen cierto efecto, de acuerdo a su naturaleza, promueve el equilibrio nutricional del suelo, aumenta su fertilidad natural, estimulando a los microorganismos benéficos de el suelo (mayor velocidad de descomposición de sustratos, aporte de nutrientes, etc.) (25).

También mejora el balance nutricional en la planta, haciéndola mas resistente al ataque de plagas y enfermedades originadas por el desequilibrio ambiental; es por eso que en algunos casos se le atribuye el efecto de actuar como repelente, fungicida o insecticida suave. Aumenta

la producción, mejora la calidad de los productos, garantizando al agricultor mayor aceptación de sus productos y precio en el mercado.

Muchos de estos productos pueden contener uno o más microorganismos, de tal forma que se mantengan los principios básicos de ecosistemas naturales, los cuales son sostenibles por sus constituyentes, la calidad y cantidad de sus poblaciones.

Otro aspecto importante es que los suelos presentan grandes variaciones con respecto al tipo y número de microorganismos. Generalmente los suelos más fértiles, menos degradados, con más contenido de materia orgánica y menos contaminados con productos químicos permiten mantener altas poblaciones de microorganismos, con una mayor diversidad de especies (26).

Los biofertilizantes sirven para estimular y activar la nutrición y resistencia de las plantas al ataque de insectos y enfermedades (22). Además de la fermentación de materia orgánica que produce y de sus residuos con

excelentes propiedades, los biofertilizantes son buenos generadores de biogás (29).

La composición del bioabono en promedio tiene 8.5% de materia orgánica, 2.6% de nitrógeno, 1.5% de fósforo, 1.0% de potasio y un pH de 7.5 (39)

El biofertilizante sólido o líquido no posee mal olor, a diferencia del estiércol fresco, tampoco atrae moscas y puede aplicarse directamente al campo en forma líquida, en las cantidades recomendadas; o bien, el biofertilizante sólido puede deshidratarse y almacenarse para usarlo posteriormente en el entendido de que al deshidratarse puede haber pérdidas por volatilización hasta 60%, sobre todo de nitrógeno (29)

El biofertilizante no deja residuos tóxicos en el suelo, eleva la calidad del mismo y puede considerarse como un buen fertilizante que puede competir o complementarse con los fertilizantes químicos (35).

2.8 Recomendaciones para uso de biofertilizantes

- Estos productos no deben exponerse a altas temperaturas ni a la luz directa del sol.
- Si se aplican a la semilla, esta se debe sembrar inmediatamente después de inocular o a más tardar dentro de las próximas 24 horas.
- Evitar el contacto del producto con fungicidas y herbicidas.
- Si la semilla está tratada con fungicidas se recomienda agregar el producto al suelo a un lado de la misma.
- Si el producto se aplica al suelo hacerlo en las primeras horas del día o en la tarde.
- Evitar aplicaciones foliares del producto junto o muy cerca de las aplicaciones de fungicidas.
- Asegúrese de la buena preparación del producto antes de colocarlo en el equipo de aspersión.
- Use la cantidad apropiada del producto.
- Lavar adecuadamente el equipo de aspersión antes de adicionar el producto.
- No aplicar si la humedad del suelo es deficiente.

CAPÍTULO 3

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del Ensayo

La investigación se realizó en un terreno de la Junta Administradora de Agua, Regional Valdivia perteneciente a la Comuna Sinchal-Barcelona, la cual se encuentra ubicada en la Costa del Ecuador, a unos 160 Km. al noreste de Guayaquil, en el Cantón Santa Elena de la provincia de Santa Elena.

La entrada a la comuna se realiza por la vía marginal del Pacífico conocida como “la Ruta del Sol”, a la altura del Km. 42 en la comuna

Valdivia, 13 Km. al sur de Manglaralto. El terreno específico (Figura 3.1) donde se realizó el ensayo está en las siguientes coordenadas: 01°56'14.3" S, 80°41'25.7" W a 33.msnm.

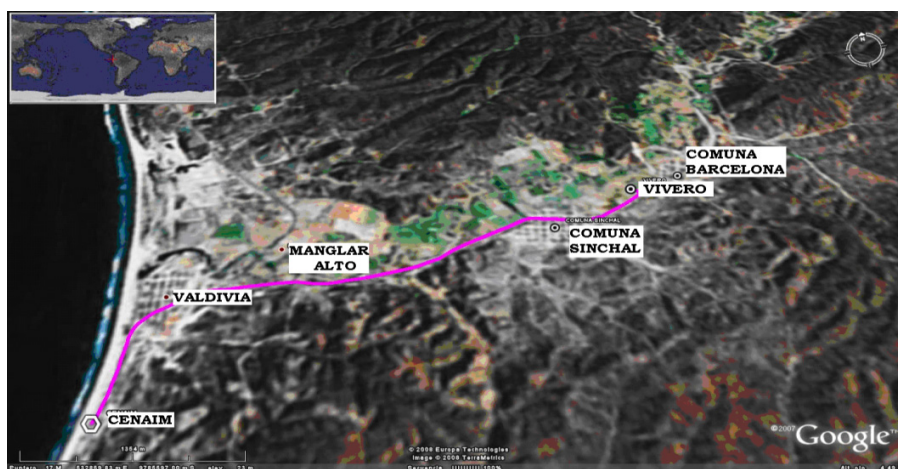


Figura 3.1. Localización del vivero según el mapa de la zona

3.2 Materiales

3.2.1 Material biológico

Para esta investigación se utilizaron semillas de algarrobo procedentes de los mejores parentales que crecen naturalmente en la zona.

3.2.2 Biofertilizantes líquidos

Los materiales utilizados para la elaboración de biofertilizantes líquidos en 1 tanque de 200 lts. se detallan en el Anexo 1.

Cabe recalcar que los materiales sirvieron tanto para la preparación de biofertilizante de vaca, como para la elaboración de biofertilizante de chivo.

3.2.3 Biodigestor

Los materiales necesarios para la elaboración del biodigestor se muestran en el Anexo 2.

3.2.4 Vivero

Para la construcción del vivero donde se montó el ensayo, se utilizó materiales descritos en el Anexo 3.

Para el llenado de fundas se utilizó los materiales descritos en el Anexo 4.

3.3 Metodología

3.3.1 Elaboración del biodigestor

El tipo de biodigestor que se utilizó en esta investigación es el denominado de régimen estacionario o de Batch.

Fue importante realizar las adecuaciones a la tapa del tanque. Primero se perforó la tapa, de tal manera que por ella salga una manguera conectada a una botella con agua, la misma que sirvió para la liberación de gases producidos en el proceso de fermentación y asegurar que el aire no ingrese nuevamente por la manguera hacia el biodigestor (Figura 3.2).



Figura 3.2 Biodigestor de tipo estacionario o de Batch

Para sellar completamente la tapa se debe colocó suficiente teflón, se apretó adecuadamente las abrazaderas y se colocó cantidades adecuadas de silicona.

3.3.2 Activación de los microorganismos eficientes

Previo a la elaboración de los biofertilizantes, se realizó la activación de los microorganismos eficientes (solución madre), ya que se encontraban en periodo de latencia.

Para este proceso se necesitó colocar 4 lts. de melaza, 4 lts. de EM y 20 lts de agua en un recipiente plástico con tapa (sin residuos tóxicos), el mismo que se tapó herméticamente durante 48 horas y se mantuvo bajo sombra. Durante el proceso, la reacción de los microorganismos aumento la presión del recipiente y generó gases, por tal motivo fue conveniente dejar escapar los gases cuando el recipiente se hinchaba.

3.3.3 Biofertilizante preparado a base estiércol de vaca

Para la elaboración de este biol se procedió a obtener el estiércol en el camal de Santa Elena, el mismo que provino del rumen del animal. En la de recolección se tuvo la precaución de recoger estiércol libre de excremento de otros animales, y desperdicios obtenidos luego del proceso de faenamiento.

En el biodigestor se colocaron 60 Kg de estiércol de vaca, luego de lo cual se adicionó 6 litros de melaza y 6 litros de microorganismos previamente activados. Una vez que se reunieron todos los materiales se agregó 80 litros de agua (Ver Anexo 5).

Posteriormente se agitó constantemente para que los materiales se fusionaran y de esta manera obtener una mezcla uniforme. Una vez que todos los materiales se homogeneizaron, se colocó la tapa, se selló herméticamente y se amarró la botella con agua junto al biodigestor.

3.3.4 Biofertilizante preparado a base estiércol de chivo:

El estiércol necesario para la elaboración del biol se recolectó en fincas de la comuna Prosperidad, donde existe la cría extensiva de ganado caprino. Dichas fincas cuentan con el asesoramiento de técnicos del PDPS. En este proceso de recolección se procuró de igual manera, que el material no haya estado contaminado con otro tipo de excremento.

En el biodigestor se colocó 60 Kg de estiércol de chivo, 6 litros de melaza, 6 litros de microorganismos eficientes previamente activados (Ver Anexo 5). A diferencia del biofertilizante de vaca en éste se colocó únicamente 50 litros de agua, porque al ocupar el

estiércol de chivo más volumen, se tuvo que dejar un espacio conveniente para la liberación de gases.

De la misma manera que en el biol de vaca, los materiales se mezclaron por 10 minutos aproximadamente hasta obtener una mezcla homogénea. Inmediatamente se cerró el biodigestor herméticamente y se amarró la botella junto a este.

Los 2 biodigestores se dejaron reposar en un lugar fresco, en un ambiente propicio para la fermentación por el lapso de 7 meses.

Tanto para los biofertilizantes de vaca como chivo se realizaron análisis físico – químicos a los 2 meses, aunque fueron almacenados por 7 meses, momento en el que se realizó la extracción del medio líquido, para lo cual se utilizaron un cernidero y un embudo para almacenar el biol en las respectivas canecas.

3.3.5 Fase de Vivero

Antes de la construcción del vivero se tomó en cuenta la orientación del sol y la velocidad del viento.

En primera instancia se procedió a nivelar el terreno para evitar encharcamientos.

El vivero se construyó con caña guadúa a una altura de 2.5 m, cubierto por una malla polisombra, que permitió el paso parcial de los rayos del sol. Las dimensiones del vivero fueron las siguientes: 20m x 9m.



Figura 3.3. Vivero de algarrobo

Posteriormente se procedió a la elaboración de las camas germinadoras, donde se utilizó un sustrato con los siguientes componentes: materia orgánica (30%), tamo de arroz (30%), arcilla (20%), arena (10%) y ceniza de tamo de arroz (10).

Las semillas de algarrobo se recolectaron de árboles adultos con buenas características fenotípicas, procedentes de la comuna Sinchal – Barcelona. Luego de la recolección se mantuvieron al sol durante 1 semana para un buen secado. De hecho se requiere de menos tiempo para lograr un buen secado, pero dadas las constantes precipitaciones y humedad relativa muy alta de la zona, se prolongó el período de secado.

Las semillas se sometieron a un proceso de escarificación antes de colocarlas en las camas germinadoras, y consistió en echar las semillas en agua hirviendo por 1 minuto, apagar la llama y dejarlas reposar por 48 horas.

Una vez escarificadas, las semillas se llevaron a camas germinadoras donde se mantuvieron hasta que presentaron entre 1 a 2 pares de hojas.

Cuando presentaron el número de hojas anteriormente mencionado, se procedió a realizar el transplante o repique a las fundas de polietileno. En el llenado de fundas de polietileno de 8 x 12 pulgadas, se utilizó el mismo sustrato que el de las camas germinadoras.

A partir del día en que se realizó este transplante se hicieron aplicaciones semanales a cada uno de los tratamientos. Se aplicó para cada tratamiento 2 litros de compuesto en las diferentes concentraciones con una bomba y se procuró realizarlas a tempranas horas de la mañana o avanzada la tarde para evitar que el producto al hacer contacto con los rayos del sol cause una reacción desfavorable a la planta.

Con respecto al riego, se lo realizó con agua de pozo, ya que en la zona de investigación las fuentes de agua son escasas. Se

realizaron pocos riegos, ya que el régimen de precipitaciones se mantuvo constante en los primeros días del ensayo.

Desde el día en que se repicaron las plantas a las fundas se realizaron evaluaciones periódicas dos veces por semana para las variables altura de planta y número de hojas, para la totalidad de tratamientos y réplicas del ensayo.

El día 9 después del transplante se retiró la malla polisombra, debido a que esta especie demanda de luz para su desarrollo vegetativo.

3.4 Diseño Experimental

3.4.1 Hipótesis

Para el desarrollo de esta investigación se planteó la siguiente hipótesis:

Ho: $\mu_{T1}=\mu_{T2}=\mu_{T3}=\mu_{T4}=\mu_{T5}=\mu_{T6}=\mu_{T7}=\mu_{T8}$ (todas la medias de los tratamientos son iguales).

Ha: $\neg H_0$ (al menos uno de las medias de los tratamientos es distinta de las otras).

3.4.2 ADEVA

La investigación se realizó mediante un diseño Completamente al Azar, con un nivel de significancia $\alpha=0.05$ y un error de estimación $EE= 5\%$. El ensayo tuvo 8 tratamientos y 3 réplicas. Los tratamientos, cada uno con 30 unidades experimentales, fueron los siguientes:

T1: control absoluto.

T1: control químico con urea: 2,5 gr/lt.

T3: aplicaciones semanales de biofertilizante a base de estiércol de vaca en concentración del 10%.

T4: aplicaciones semanales de biofertilizante a base de estiércol de vaca en concentración del 30%.

T5: aplicaciones semanales de biofertilizante a base de estiércol de vaca en concentración del 70%.

T6: aplicaciones semanales de biofertilizante a base de estiércol de chivo en concentración del 10%.

T7: aplicaciones semanales de biofertilizante a base de estiércol de chivo en concentración del 30%.

T8: aplicaciones semanales de biofertilizante a base de estiércol de chivo en concentración del 70%.

Según el sorteo aleatorio, el arreglo de los tratamientos en el campo fue el siguiente:

I REPETICIÓN	II REPETICIÓN	III REPETICIÓN
T5	T3	T2
T8	T1	T8
T3	T2	T6
T2	T7	T5
T4	T5	T7
T6	T6	T3
T7	T8	T4
T1	T4	T1

Tabla 1. Arreglo de los tratamientos mediante un sorteo aleatorio

Variables evaluadas:

- Altura de planta: este parámetro se evaluó 2 veces por semana, desde el transplante hasta la finalización del ensayo, para lo cual se midió la longitud de la planta, desde la base hasta bifurcación del ápice terminal.
- Número de hojas: este parámetro se valoró dos veces por semana.
- Porcentaje de mortalidad: se valoró al final del ensayo.

Para el análisis de datos se utilizó la fórmula del área bajo la curva, la misma que hace una estimación del parámetro en el tiempo y ayuda a realizar una mejor comparación estadística de las medias (41).

$$\text{AUDPC} = \sum_{i=1}^n [Y_{i+1} + Y_i] / [T_{i+1} + T_i]$$

Donde:

Y: valores observados de cada variable.

T: tiempo (días) de observación.

n: número total de observaciones.

j: de 1 hasta n evaluaciones.

Para calcular el área bajo la curva se dividió el área total debajo de la curva en polígonos para así con la utilización de fórmulas geométricas determinar sus valores fácilmente. Por último para obtener el área bajo la curva de una planta se realizó la sumatoria de las sub áreas (Figura 3.4), para luego sacar la media, considerada representativa.

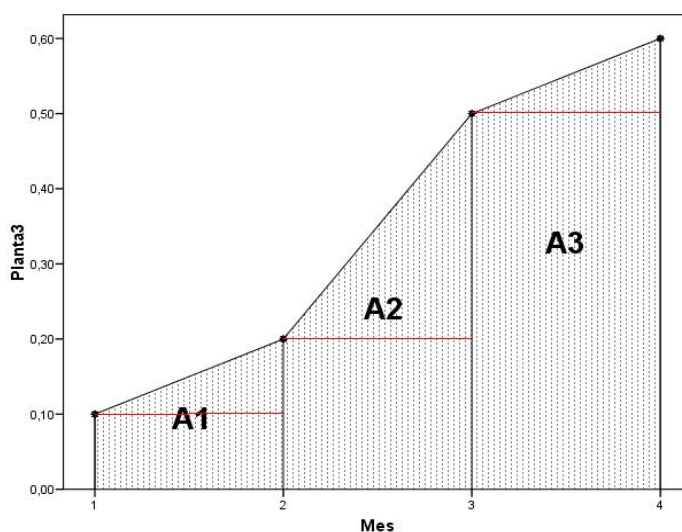


Figura 3.4. Área bajo la curva de una planta en n días

Adicionalmente para el análisis de los datos, éstos deben cumplir con 3 supuestos:

1. Normalidad de las variables: fue importante corroborar este supuesto, de no ser así, se conduciría a un sesgo en la información deseada. El procedimiento más simple fue graficar la curva de Gaus y establecer similitudes.

Debido a que en primera instancia los datos no cumplieron con este supuesto, se realizaron transformaciones a logaritmo natural (Ln) y se comprobó el supuesto mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Ver anexo 6).

2. Homogeneidad de las varianzas: se requiere que los tratamientos escogidos provengan de grupos de varianzas homogéneas, aún cuando sus medias poblacionales sean diferentes. Se comprobó con la Prueba de Levene (Ver anexo 7).
3. Independencia de los Errores experimentales: requiere que el error de una observación no esté relacionada o dependa de otra. Este requisito se aseguró con un sorteo adecuado al azar de los tratamientos.

Finalmente se realizó la prueba de separación de medias de tratamientos (Prueba de Tukey), considerada como honesta y muy usada en investigación para comparar los tratamientos.

3.5 Resultados

3.5.1 Resultados de análisis de laboratorio de agua

Previo a la fase de vivero se realizó un análisis al agua de pozo que se utilizó para el riego de las plantas, debido a que las fuentes de agua accesibles eran escasas. Los resultados arrojaron lo siguiente:

Alcalinidad	Dureza	pH
198,1	1582,4	7

Tabla 2. Análisis de agua de riego.

La alcalinidad total está expresada como CaCO_3/l y la dureza total expresados como mgCaCo_3/l (40).

3.5.2 Resultados de análisis de laboratorio de macro y micronutrientes al sustrato.

El resultado del análisis se detalla en la tabla 3.

Parámetros.	Unidad	Valores
Arena	%	60
Limo		25
Arcilla		15
Clase	-----	FAr
DA	gr/cm ³	1,2
pH	u.	7,7 lalc
CE 1:1	mmhos	5,86 md
MO	%	2,73 LS
N		0,45 a
CIC	meq/100 gr	28,5 a
Na		2,79 m
K int		7,89 a
K asim.		6,61 a
Ca		19,8 m
Mg		9,5 a
P	ppm	108,9 a
Fe		15 b
Mn		18,3 a
Zn		3,3 b
Cu		1,7 b
S		5 b

Laboratorio de Análisis Agrícola. Dr. Jorge E. Fuentes C. Guayaquil Ecuador.

Tabla 3. Resultado de análisis de suelos.

3.5.3 Resultado de análisis físico- químicos a biofertilizantes de vaca y chivo.

Los resultados de los análisis físico-químicos realizados a los biofertilizantes, se detallan en la Tabla 4.

Parámetro	Unidad	Vaca	Chivo
pH	u	4,9	6,2
SDT		0,6	1,4
CO		2,2	14
MO		4,1	26
N	%	0,2	1,5
P		0,1	0,1
Na		0,3	0,3
K		0,2	1
Ca		0,2	0,4
Mg	ppm	0,1	0,2
Fe		52	208
Mn		7,2	14
Cu		0,5	0,8
Zn		6,3	4,3
B		0,8	3,9
S		338	944

Laboratorio de Análisis Agrícola. Dr. Jorge E. Fuentes C.

Tabla 4. Análisis físico-químicos realizados a los biofertilizantes

Se nota en el principal elemento (N), que el valor para el biofertilizante de chivo es mucho más elevado que para el biofertilizante de vaca. Para los demás elementos, los contenidos en el biol de chivo de igual manera se mantienen con valores superiores a los del biol de vaca, a excepción del P, Na que mantuvo valores similares y el Zn que es superado por el biol de vaca.

El pH es un parámetro muy importante en la disponibilidad de los nutrimentos. En esta investigación, el pH se mantuvo en rangos de 6,2 para el biofertilizante de vaca y 4,6 para el biofertilizante de chivo.

3.5.4 Resultados de pruebas estadísticas

El análisis de varianza, para las variables altura de planta, número de hojas y mortalidad se presentan a continuación:

Variable número de hojas

Luego de realizar los respectivos cálculos, el ADEVA dio los siguientes resultados:

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	Sig.
Tratamiento	6,692	7	0,956	3,871	0,00
Error	169,152	685	0,247		
Total	175,844	692			

Tabla 5. Análisis de varianza de la variable número de hojas transformada a Ln.

La significancia obtenida en la tabla del ADEVA, indica que el ensayo es significativo y que al menos una de las medias de los tratamientos es diferente.

Al hacer comparaciones con Tukey (Ver Anexo 8), entre los tratamientos se encontraron dos grupos de significancia.

En la figura 3.5 se puede apreciar las diferencias significativas entre los diferentes tratamientos y aunque hay diferencias entre ellos, estos se comportan de manera estable.

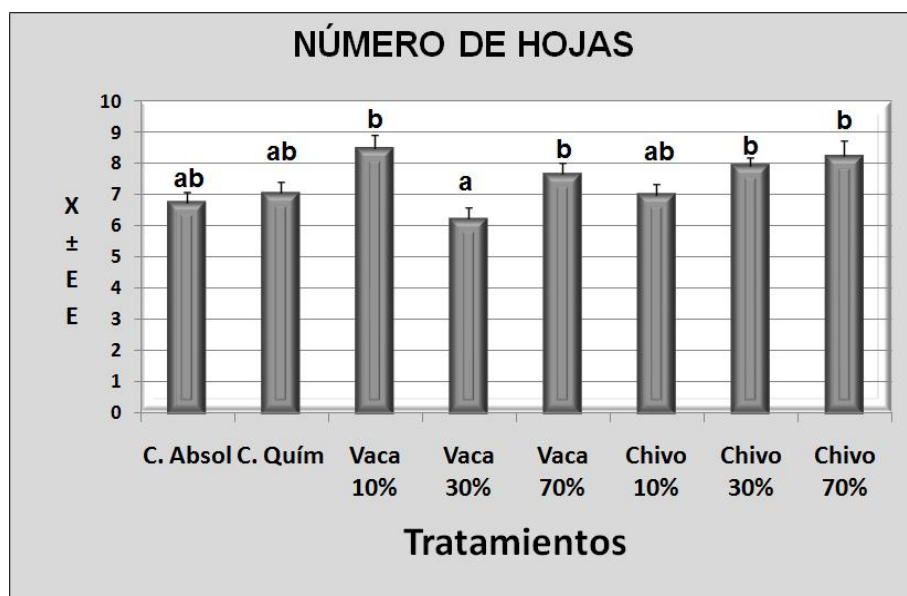


Figura 3.5. Valores medios de la variable número de hojas transformada a Ln, con 2 rangos de significación según Tukey.

Variable altura de planta

Después de analizar los datos, se obtuvo lo siguiente:

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F	Sig.
Tratamiento	4,064	7	0,581	3,509	0,001
Error	113,331	685	0,165		
Total	117,395	692			

Tabla 6. Análisis de varianza de la variable altura de planta transformada a Ln.

La tabla da un valor de significancia α : 0.001, lo cual indica que las medias de los tratamientos son diferentes, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Por otra parte la prueba de Tukey (Ver Anexo 9), consideró cuál de los tratamientos es el mejor y del comportamiento que tiene cada uno de ellos, a partir de la figura 3.6.

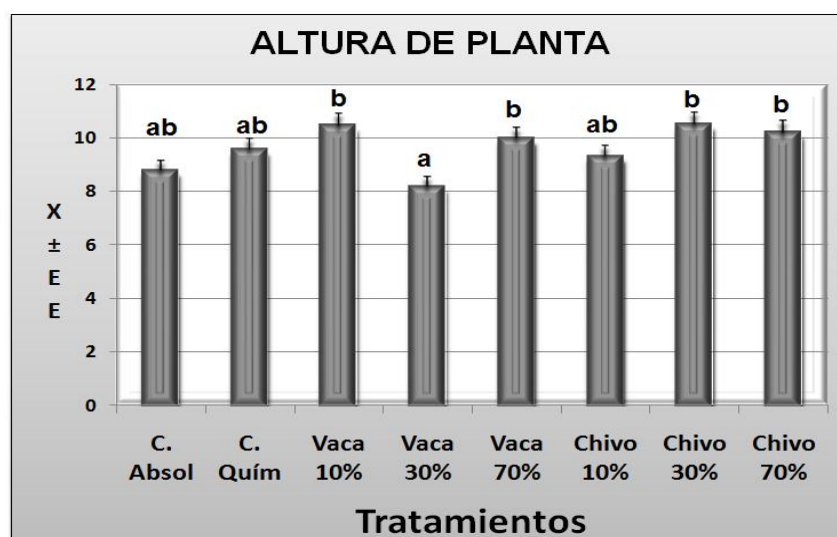


Figura 3.6. Valores medios de la variable altura de planta transformada a Ln, con 2 rangos de significación según Tukey

Variable Mortalidad

En la figura 3.6 se presenta la tendencia que tuvo en cada una de las evaluaciones en el transcurso del ensayo.

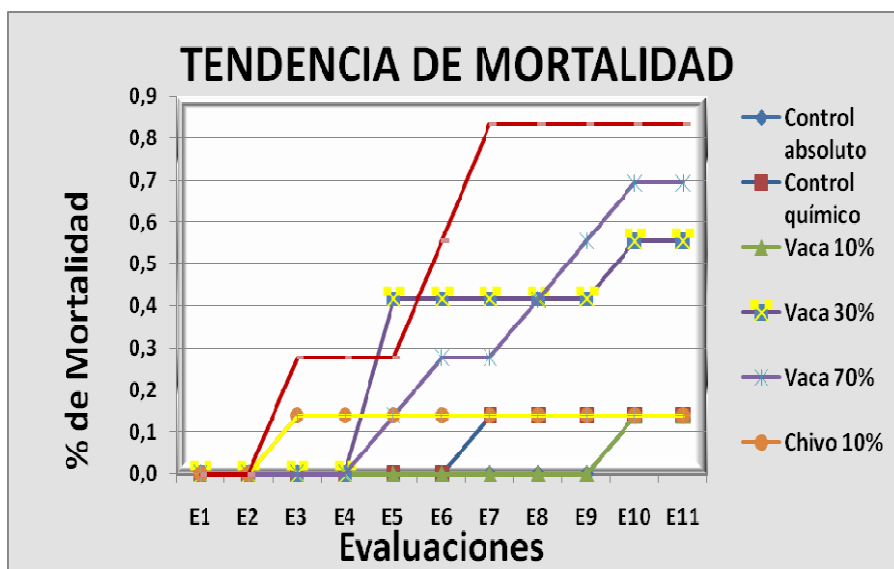


Figura 3.7. Tendencia de mortalidad de algarrobo por día de evaluación.

Luego del análisis de los datos obtenidos, se determinó que existe evidencia estadísticamente significativa y que al menos uno de tratamientos es diferente.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F	Sig.
Tratamiento	,599	7	,086	2,398	,020
Error	25,389	712	,036		
Total	25,988	719			

Tabla 7. Análisis de varianza de la variable mortalidad transformada a Ln.

El porcentaje de mortalidad para cada tratamiento se presenta la siguiente figura:

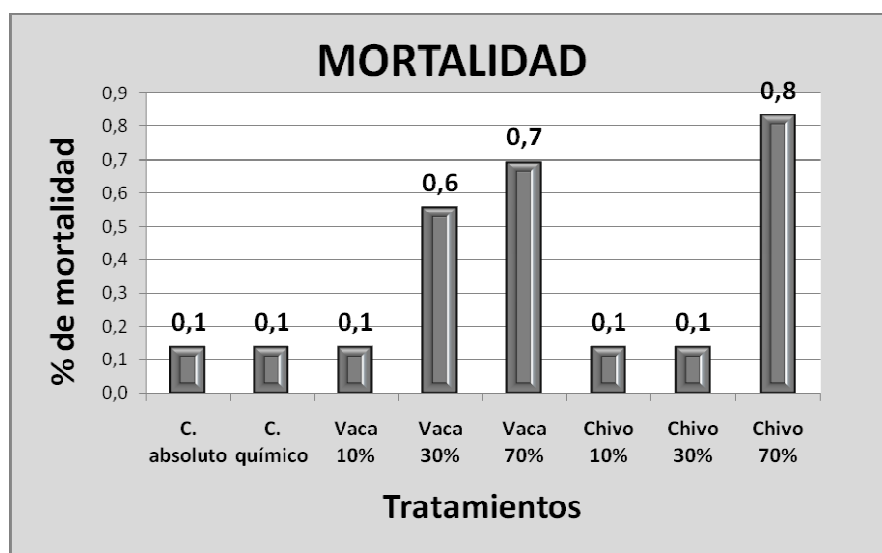


Figura 3.8. Porcentaje de mortalidad de algarrobo en fase de vivero

CAPITULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis de agua

El agua que se utilizó para el riego y para las diluciones de biofertilizantes en los diferentes tratamientos posee pH neutro, haciendo que sea apta para el riego, a pesar de que tiene valores de alcalinidad y dureza elevados.

Además cabe recalcar el algarrobo es una especie que llega a sobrevivir en concentraciones de hasta 3.2 % de NaCl, que es la misma salinidad que posee el agua de mar, haciéndolo tolerante a condiciones adversas (7).

4.2 Análisis del sustrato

El sustrato utilizado en la investigación es franco arenoso y dado el caso que el algarrobo es una especie que crece en gran variedad de suelos, tales como: areno-arcillosos, salinos, erosionados, rocosos, arenosos, suelos de aluvión, incluso en suelos muy pobres como dunas secas y guijosas; hace que sus raíces se desarrollan de manera normal.

El pH del sustrato es ligeramente alcalino de 7.7, siendo adecuado para la propagación de la especie, ya que la misma necesita un pH que esté en el rango de 6.5 a 8.3 y en algunas ocasiones es capaz de crecer en suelos sódicos con pH de hasta 10.4 (7).

Igualmente el contenido de macro y micronutrientes del sustrato, a pesar de poseer valores altos y bajos en algunos elementos, lo hace adecuado para el crecimiento del algarrobo en la fase de vivero, ya que como se señaló anteriormente, es una especie muy tolerante a deficiencias y exceso de nutrientes.

4.3 Análisis de biofertilizantes

Los biodigestores estacionarios o de Batch, se llenaron una sola vez con excretas de vaca y de chivo, permanecieron por un periodo de 2 meses bajo condiciones de hermetismo. En el proceso de fermentación se procuró que el ambiente en el que permanecían los biodigestores estén lo mas ventilados posible para que la temperatura no se eleve demasiado.

Al cabo de 1 y 2 días las bacterias metanogénicas comenzaron a generar biogás en los biodigestores con estiércol de vaca y chivo respectivamente, llegando a estabilizarse lentamente a medida que se descomponía la materia contenida y sobre todo porque los requerimientos nutricionales de los microorganismos anaeróbicos son especiales, ya que la generación de nueva células, así como su metabolismo es lento.

La fijación de elementos nutritivos como el nitrógeno y el fósforo fue escasa, no así el consumo de carbono que es transformado a metano y a dióxido de carbono. En la biodigestión, el material orgánico se separa y se precipita en forma natural depositándose los lodos en el fondo. Los

elementos nutricionales en el material orgánico son utilizados por los microorganismos para realizar sus procesos metabólicos.

La cantidad de efluente (parte líquida más importante aplicada como fertilizante al algarrobo) que se obtuvo al final del proceso dependió mucho de la cantidad de sólidos sedimentables totales (son los que sirven de alimento a los microorganismos responsables de la biodigestión). Por lo tanto entre mayor sea la concentración de sólidos totales, se tendrá mayor contenido de nutrimentos en el efluente. Así esta investigación arroja valores de sólidos sedimentables totales de 1,4% para el biofertilizante de chivo y 0.6% para el biofertilizante de vaca.

El biofertilizante a base de vaca mostró en su contenido los siguientes porcentajes: N 0.2%, P 0.1%, Na 0.3, K 0.2 %, Ca 0.2%, Mg 0.1%, Fe 52 ppm, Mn 7.2 ppm, Cu 0.5 ppm, Zn 6.3 ppm, B 0.8 ppm y S 338 ppm.

De la misma manera el biofertilizante de chivo contuvo: N 1.5%, P 0.1%, Na 0.3, K 1 %, Ca 0.4%, Mg 0.2%, Fe 208 ppm, Mn 14 ppm, Cu 0.8 ppm, Zn 4.3 ppm, B 3.9 ppm y S 944 ppm.

Claramente los resultados arrojan que en porcentaje de N, el biol de chivo supera al biol de vaca, teniendo el primero 1.5 % y el segundo 0.2%

El valor de pH para los dos biofertilizantes, 6.2 (chivo) y 4.2 (vaca) se encuentran por debajo del rango óptimo del pH de 6.6 a 7.6 (McCarty, 1964), necesario para lograr una mayor eficiencia en la biodigestión. Mantener este rango de pH, es un indicador de que el proceso se está desarrollando correctamente, principalmente por la presencia de los diversos tipos de microorganismos que están en el medio y que requieren ser neutralizados para restituir el pH.

4.4 Análisis de Pruebas estadísticas

El análisis de varianza arrojó que existen diferencias estadísticas significativas en el ensayo tanto para las variables altura de planta como para número de hojas, así como para la variable mortalidad; además existe una correlación directa entre la altura de la planta y el número de hojas (Ver anexo 10).

Con un total de 8 tratamientos y 3 réplicas, el ensayo es 100% confiable (Ver anexo 11) para la variable altura de planta y 95% confiable (Ver anexo 12) para la variable número de hojas. La razón substancial para que se hayan obtenido potencias tan altas se debe principalmente al número de unidades experimentales (30 unidades) que se evaluaron por tratamiento.

Al realizar la prueba de significación de Tukey al 5 % de probabilidad (Ver Anexo 9) a la variable altura de planta, se detectaron dos subgrupos homogéneos. En el primer rango son estadísticamente iguales los tratamientos: control químico, chivo al 10%, control absoluto y vaca al 30%; siendo el control químico el de mayor promedio, seguido en orden de promedios por los demás tratamientos. En el segundo subgrupo se encuentra el tratamiento chivo al 30% con promedio mayor a los de su mismo grupo como son los tratamientos: vaca al 10%, chivo al 70 % y vaca al 70%.

De los 8 tratamientos analizados, el mejor en promedio es el tratamiento que fue aplicado con biofertilizante de chivo al 30%, seguido por los tratamientos en el que se utilizó biofertilizantes de vaca al 10% y biofertilizante de chivo al 70%

Para la variable número de hojas, según la prueba de Tukey (Ver Anexo 10), existen 2 subgrupos homogéneos. En el primer grupo los de mejor promedio son el tratamiento de chivo al 10%, seguido por el control químico. En el segundo grupo el mejor tratamiento es el tratamiento de vaca al 10%, seguido por el de chivo al 70%. De los dos grupos existentes, el mejor tratamiento es el de vaca al 10%, seguido por el de chivo al 70% y chivo al 30%.

Para las variables analizadas, los mejores tratamientos son Chivo al 30%, seguido del tratamiento vaca al 10% y chivo al 70%. Por otro lado los peores tratamientos se consideran a los tratamientos de vaca al 30% y control absoluto. Esta consideración para catalogar el mejor tratamiento con respecto a dos variables, parte de un análisis independiente de las variables altura de planta y número de hojas

Con lo que respecta a la variable mortalidad, en ninguno de los tratamientos se llega por lo menos a 1%. Esto hace pensar que los biofertilizantes no causan problemas a las plantas de algarrobo en la fase de vivero.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se encontró diferencias estadísticas significativas en el ADEVA para las variables altura de planta, número de hojas y mortalidad, lo cual indica que los fertilizantes al ser aplicados en diferentes dosis a algarrobo en fase de vivero, provoca respuestas favorables.
- El mejor tratamiento registrado en promedio fue el tratamiento 7 (Chivo al 30%), seguido del tratamiento 3 (vaca al 10%). Por otro lado el tratamiento que registró los promedios más bajos en el ensayo fue el tratamiento 4 (vaca al 30%), seguido por el tratamiento 8 (chivo al 70%).

- La variable mortalidad no registró porcentajes mayores al 1% en ninguno de sus tratamientos.
- Se determinó los porcentajes de N contenidos en los biofertilizantes de vaca y chivo, los cuales tienen 0.2% y 1.5 % respectivamente.
- Gracias a la aplicación de los biofertilizantes, el tiempo de permanencia de las plántulas en fase de vivero disminuyó considerablemente de un promedio de 4 meses (bajo un manejo convencional) a 37 días solamente.

RECOMENDACIONES:

- Debido a que el tiempo de permanencia de las plantas en fase de vivero en esta investigación fue de 37 días, se pueden establecer programas de reforestación con esta especie mediante la aplicación de los mejores biofertilizante. El proceso de reforestación, además ser más corto, principalmente mejoraría la fertilidad del suelo, ya que fija gran cantidad de Nitrógeno y controlaría la erosión en suelos químicamente degradados.

- La opción de reproducir plantas de algarrobo utilizando biofertilizantes líquidos, es una alternativa viable y favorable al ambiente, comparada con las fertilizaciones químicas que pueden ser contaminantes.

- Se propone tentativamente la aplicación de los mejores biofertilizantes probados en esta investigación a nuevas especies, especialmente a aquellas de lento crecimiento, esperándose obtener resultados significativos.

- De aplicarse los biofertilizantes a otra especie, se debe tener especial cuidado con el pH, principalmente con el biol de vaca que posee un pH muy ácido; situación que toleró el algarrobo por ser una especie tolerante a condiciones adversas de acidez. Para otras especies se recomienda hacer un encalado (adicionar cal agrícola).

BIBLIOGRAFÍA

1. Batis, A.I., M.I. Alcocer, M. Gual, C. Sánchez y C. Vázquez-Yanes. 1999. Árboles y Arbustos Nativos Potencialmente Valiosos para la Restauración Ecológica y la Reforestación. Instituto de Ecología, UNAM - CONABIO. México, D.F.
2. Cervantes, V., M. López, N. Salas y G. Hernández. sf. Técnicas para Propagar Especies Nativas de la Selva Baja Caducifolia y Criterios para establecer Áreas de Reforestación. Facultad de Ciencias, UNAM – PRONARE SEMARNAP. México, D.F.
3. Arriaga, V. 1991. Fenología de 12 Especies de "La Montaña" de Guerrero, México: elementos para su Manejo en una Comunidad Campesina. Tesis Profesional (Biología). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
4. Arriaga, V., V. Cervantes y A. Vargas-Mena. 1994. Manual de Reforestación con Especies Nativas: colecta y Preservación de Semillas, Propagación y Manejo de Plantas. SEDESOL / INE – Facultad de Ciencias UNAM. México, D.F.
5. Anónimo. 1994. Mezquite. *Prosopis* spp. Cultivo Alternativo para las Zonas Áridas y Semiáridas de México.

6. Garibaldi, C., 2000. *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. In Vozzo JA (Ed.) Tropical Tree Seed Manual. USDA Forest Service.
7. Anónimo. 1825. *Prosopis juliflora*. Publicado en: *Prodromus Systematis Naturalis Regni Vegetabilis* 2: 447. (en línea). Consultado el 7 de Septiembre de Abril del 2008. Disponible en http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/46-legum44m.pdf.
8. Ribaski, J. Potencial del Algarrobo (*Prosopis juliflora*) en sistemas silvopastoriles en el semiárido de Brasil. EMBRAPA - Centro de Investigación Forestal. Brasil. (en línea). Consultado el 7 de Septiembre del 2008. Disponible en <http://www.fao.org/Docrep/006/Y4435S/y4435s0c.htm>.
9. Ferreyra, R. 1987. Estudio sistemático de los algarrobos de la costa norte del Peru. CONCYTEC/CIID, Lima.
10. Burkart, A.A. 1976b Monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae subfam. Mimosoideae). *Journal of the Arnold Arboretum*, 57(3): 219-249.
11. Gomes, P.A. 1961. *A algarobeira*. Serviço de Informação Agrícola, R. de Janeiro.

12. Nobre, F.V. 1982. A algarobeira no Nordeste brasileiro, especialmente no Rio Grande do Norte. In Simpósio Brasileiro sobre Algaroba. Anais. EMPARN, Natal.
13. Kirchner F., Atilano M., Granados A., Orozco A. 1982. Producción Forestal. Editorial Trillas. México.
14. Lima, P.C.F. 1994. Comportamiento silvicultural de especies de Prosopis, en Petrolina- PE, región semiárida Brasileira. Escuela de Florestas – Universidad Federal de Paraná. Curitiba.
15. Silva, H.D. da y Lima, P.C.F. 1985. Tipos de maceta para la producción de plantas de algarroba. In: *Forestación en zonas Áridas y Semi-Áridas*. Encuentro Regional de CIID, América Latina y el Caribe. Actas CIID/INFOR, Santiago. p,97-104.
16. Ribaski, J. 2000. Influencia del Algarrobo *Prosopis juliflora* en la Disponibilidad y Calidad del Forraje de Pasto Buffel *Cenchrus ciliaris* en la Región Semi-árida Brasileira. EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Florestas.
17. Mahecha, L., Rosales, M., Molina, C., Molina, E. 1994. Experiencias en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala-Cynodon plectostachyus-Prosopis juliflora* en el Valle del Cauca. Colombia

18. Ladrach, W. sf. Técnicas Para el Establecimiento de Plantaciones Forestales en la América Tropical. Universidad Estatal de Carolina del Norte. (en línea). Consultado el 12 de Abril del 2008. Disponible en http://www.rngr.net/Publications/tpn/43/43_4_133_141.pdf/file.
19. Mariano A., Cony. 1995. Reforestación racional de zonas áridas y semiáridas con árboles de múltiples propósitos. Interciencia. (en línea). Consultado el 2 de Abril del 2008. Disponible en <http://www.interciencia.org.ve>
20. Alcedo, G.E.C. 1988. Evaluation of flour from *Prosopis juliflora* and *Prosopis pallida* pods in bakery and extrusion-cooking products. In *The current state of knowledge on Prosopis juliflora. International Conference on Prosopis* FAO, Rome. p.425-442.
21. National Academy of Sciences. 1984. Especies para leña: arbustos y árboles para producción de energía. CATIE / NAS, Turrialba.
22. Anónimo. s.f. Boletín informativo amigo productor, produzca su propio abono foliar de alta calidad y a bajo costo. Gobierno Regional amazonas, Gerencia Regional de Desarrollo Económico. Perú.
23. Barros, M. Da Silva, J. 2006. Biofertilizantes líquidos y sustentabilidad agrícola. Bahía Agrícola. Brasil.

24. Celis, J. 2005. Producción de biofertilizante amigable con el medio ambiente. Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno, UNAM. México.
25. García, R. 2001. Biofertilizantes. Salamanca.
26. Acuña, O. s.f. El uso de los biofertilizantes en la agricultura. Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
27. Seixas J., Folle S., Machetti D. 1980. Construcción y Funcionamiento de biodigestores. Brasília: Embrapa-DID. (Embrapa – CPAC. Circular Técnica, 4).
28. Meirelles, L. Bracagioli Neto, A. Meirelles, A. L. Gonçalves, A; Guazzelli, M. J.; Volpato, C. & Bellé, N. 1997. Biofertilizantes enriquecidos: camino a la nutrición y protección de las plantas. Centro de Agricultura Ecológica, CAE.
29. Fregosol M., Ferrera R., Etchevers J., Alcántar G., Santos J., Gómez L., Pereyda G. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. México.
30. Soubes, M. 1994. Biotecnología de la digestión anaerobia. Montevideo, Uruguay.

31. Salazar G. 1993. Los digestores: Una alternativa energética en la porcicultura y un medio para evitar la contaminación. SARH-INIFAP-CIPAC. Campo Experimental Centro de Jalisco. Guadalajara, Jalisco, México.
32. Kennedy, J.K. y D.V. Berg. 1982. Anaerobic digestion of piggery waste using a stationary fixed film reactor. Agric
33. CEMAT. Centro Mesoamericano de Estudios sobre Tecnología Aplicada. 1977. Planta de biogas a pequeña escala de la India. Handbook of Appropriate Technology of the Canadian Munger Foundation. Guatemala, Guatemala.
34. Viñas, M. 1994. Criterios de diseño y escalado de reactores anaerobios. Montevideo, Uruguay.
35. Mandujano M. 1981. Biogas: Energía y fertilizantes a partir de desechos orgánicos. Manual para el promotor de la tecnología. Organización Latinoamericana de Energía. Cuernavaca, Morelos, México.
36. FAO. 1995. Biodigestor de plástico de flujo continuo, generador de gas y bioabono a partir de aguas servidas. CIPAV Fundación Centro para Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. Guatemala, Guatemala.

37. Suquilanda, M. 2001. Curso Internacional de elaboración, uso y manejo de los abonos orgánicos. Corporación PROEXANT. Ecuador.

38. Jiménez M. s.f. Taller de transferencia de Taller de transferencia de tecnología PL480 a PL480. CIBE. Ecuador.

39. Botero, B.M. y R.P. Thomas. 1987. Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.

40. Boyd, Tucker. 1992. Water Quality and pond soil

41. Kesmala, T., Jogloy, S. 2006. Evaluation of ten peanut genotypes for resistance to Peanut bud necrosis virus (PBNV). Tailandia.

ANEXOS

ANEXO 1

Materiales necesarios para la elaboración de biofertilizantes

Material	Unidad	Cantidad
Microorganismos Eficientes (EM)	Lt.	6
Melaza	Lt.	6
Estiércol de vaca/chivo	Kg	60

ANEXO 2

Materiales necesarios para la elaboración del biodigestor

Material	Unidad	Cantidad
Tanque de 200 lts con tapa enroscable	u	1
Manguera plástica	m	1
Silicona de uso general	u	1
Abrazadera	u	2
Unión	u	2
Neplo	u	2
Botella plástica llena de agua	u	2
Alambre galvanizado	m	2
Balanza colgante	u	1
Teflón	u	3

ANEXO 3

Materiales necesarios para la construcción del vivero

Material	Unidad	Cantidad
Carretilla	u	1
Palas	u	2
Azadón	u	2
Rastrillo	u	2
Clavo para madera de 2 1/2	lb.	3
Alambre de púas	m.	100
Grapas para alambre de púas	lb.	3
Alambre galvanizado	lb.	5
Manguera transparente 1/2"	m	30
Baldes plásticos	u	2
Caña guadúa de 10 m	u	50
Martillo	u	1
Alicate	u	1
Manguera para riego	m	50
Tanque plástico de 500 litros	u	1
Torre para soporte de tanque	u	1
Malla metálica para cercar	m	100
Regadera	u	1
Bomba de 5 litros	u	1
Malla polisombra	m	240
Jarra plástica de 1 litro	u	1
Guantes plásticos	u	1
Embudo	u	1
Cernidero	u	1
Canecas de 5 galones	u	2

ANEXO 4

Materiales necesarios para el llenado de fundas

Material	Unidad	Cantidad
Fundas de polietileno de 8 x 12 "	u	800
Tamo de arroz	m ³	2.37
Materia orgánica	m ³	2.37
Arcilla	m ³	1.58
Arena	m ³	0.79
Ceniza de tamo de arroz	m ³	0.79
Dispensadores	u	2
Malla para cernir	u	1

ANEXO 5

Proceso de elaboración de biofertilizantes

ANEXO 6

**Prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar la Normalidad de
varianzas para variables altura de planta y número de hojas**

Número de hojas		Ln.
N		693
Normal Parámetros(a,b)	Median	1,8803
	Deviación estándar	,50409
Más Extremo	Absoluto	,030
Diferencias	Positivo	,016
	Negativo	-,030
Kolmogorov-Smirnov Z		,784
Asymp. Sig. (2-tailed)		,570
Número de hojas		Ln.
N		693
Normal Parámetros(a,b)	Median	1,8803
	Deviación estándar	,50409
Más Extremo	Absoluto	,030
Diferencias	Positivo	,016
	Negativo	-,030
Kolmogorov-Smirnov Z		,784
Asymp. Sig. (2-tailed)		,570

- a. La distribución de la prueba es Normal.
b. Calculado de los datos.

ANEXO 7

**Prueba Levene para determinar la Homogeneidad de varianzas para
variables altura de planta y número de hojas**

Variable altura de planta			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,330	7	685	,233
Variable número de hojas			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,712	7	685	,103

ANEXO 8.

Resultado de las múltiples comparaciones realizadas en la prueba de Tukey para la variable Número de hojas

Tratamiento Número de hojas	N	Subconjunto para Alfa = .05	
		1	2
Vaca 30	83	1,693006638	
C. absoluto	88	1,787495446	1,787495446
C. químico	89	1,843606925	1,843606925
Chivo 10%	89	1,84951641	1,84951641
Vaca 70%	84		1,93409257
Chivo 30%	88		1,954055299
Chivo 70%	83		1,968819744
Vaca 10%	89		2,007775118
Sig.		0,434350459	0,070970738

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

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 86,546.

b Los tamaños de los grupos no son iguales. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

ANEXO 9

Resultado de las múltiples comparaciones realizadas en la prueba de Tukey para la variable Número de hojas

Tratamiento Altura	N	Subconjunto para Alfa = .05	
		1	2
Vaca 30%	83	2,031	
C. absoluto	88	2,0922	2,0922
Chivo 10%	89	2,1623	2,1623
C. químico	89	2,179	2,179
Vaca 70%	84		2,2235
Chivo 70%	83		2,2333
Vaca 10%	89		2,2473
Chivo 30%	88		2,2703
Sig.		0,247	0,078

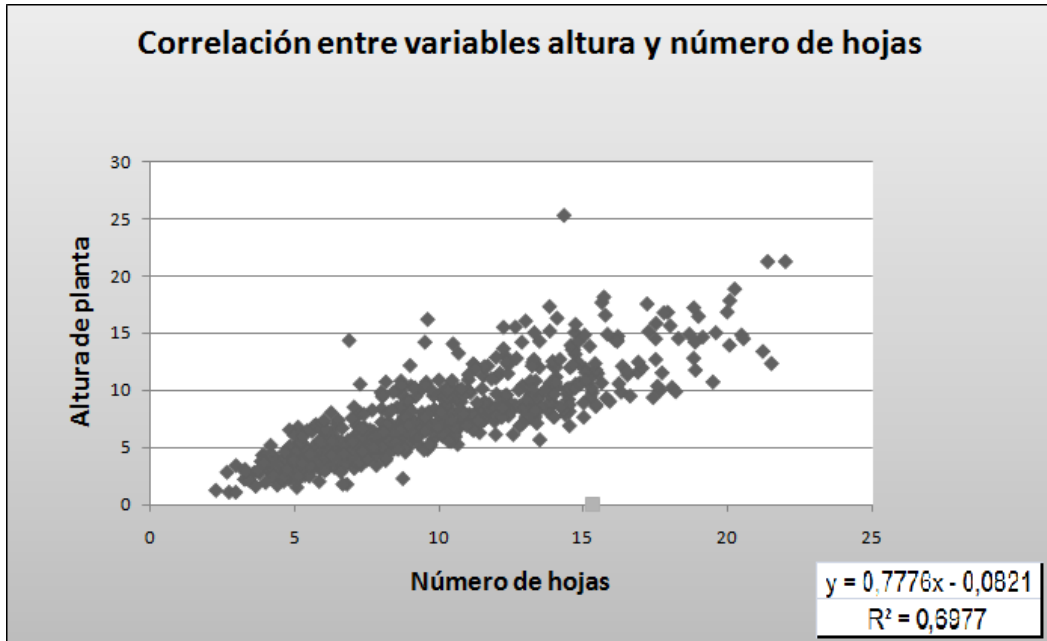
Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 86,546.

b Los tamaños de los grupos no son iguales. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

ANEXO 10

Correlación entre las variables altura de planta y número de hojas



ANEXO 11

Potencia del ensayo para la Altura

Número de tratamientos	8
Varianza común dentro de tratamientos	0,17
Nivel de significación	0,05
Mínima diferencia que se quiere detectar	0,5
Repeticiones por tratamiento (n)	30
Potencia alcanzada	0,95188

ANEXO 12

Potencia del ensayo para el Número de hojas

Número de tratamientos	<input type="text" value="8"/>
Varianza común dentro de tratamientos	<input type="text" value="0,25"/>
Nivel de significación	<input type="text" value="0,05"/>
Mínima diferencia que se quiere detectar	<input type="text" value="1"/>
Repeticiones por tratamiento (n)	<input type="text" value="30"/>
Potencia alcanzada	<input type="text" value="1,00000"/>