



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE SUELOS
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA
EL DESARROLLO SOSTENIBLE

PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE *Guazuma ulmifolia* EN ASOCIACIÓN
CON *Leucaena leucocephala* CON DIFERENTES MÉTODOS DE
FERTILIZACIÓN

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE



PRESENTA:

JADINSON RUÍZ MOSQUERA

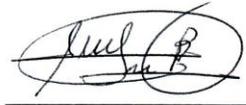
Chapingo, México, Junio de 2014

**PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN *Guazuma ulmifolia* EN
ASOCIACIÓN CON *Leucaena leucocephala* CON DIFERENTES
MÉTODOS DE FERTILIZACIÓN**

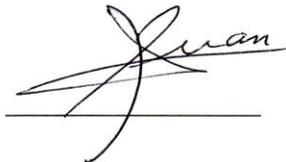
Tesis realizada por **JADINSON RUÍZ MOSQUERA** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE**

DIRECTOR: Dr. Alejandro Lara Bueno



ASESOR: Dr. Juan Velázquez Mendoza



ASESOR: Dr. Miguel Uribe Gómez



DEDICATORIA

A Dios por brindarme esta gran oportunidad,

a mis padres, en especial a mi madre Soraya Mosquera Mosquera por ser un

apoyo constante en mi vida,

a mi hermana Lor L. Ruiz M. y a todos los que de una u otra manera creen en mí.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**) por el apoyo financiero que me permitió concluir una etapa más en mi crecimiento profesional.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por brindarme esta gran oportunidad de avanzar un escalón más en mi vida brindándome todo lo necesario para lograr mi meta.

A la Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible por todo el conocimiento adquirido.

Un Agradecimiento muy especial al Dr. Alejandro Lara Bueno por su gran apoyo, creer en mi. Al Dr. Juan Velázquez Mendoza por su gran apoyo, buena energía y paciencia al enseñarme nuevas formas de ver el campo. Al Dr. Miguel Uribe Gómez por el ánimo que me brindó.

A Tulia Inés Henry por darme ánimo y fuerzas desde la distancia para lograr mis objetivos y Araceli Lucatero Birrueta por su ayuda desinteresada al ayudarme a entender muchas cosas en este proceso a Nanci Elena Gonzales Flores por la gran ayuda energía que siempre me brinda y en general a todas y cada una de las personas con las cuales compartí y pase grandes momentos, para todos un Dios los bendiga.

DATOS BIOGRÁFICOS

Jadinson Ruíz Mosquera es colombiano y nació el 29 de junio de 1979 en Cali, Departamento del Valle del Cauca. Se graduó como Ingeniero Agroforestal en la Universidad Diego Luis Córdoba (Chocó, Colombia), en el año 2003, realizando una tesis para su titulación la cual tiene por título: “Influencia de los Sistemas Agroforestales en la Quebrada Guadalupe en “Lloró, Chocó“.

Luego de su titulación, trabajó un año en el SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje) en la ciudad de Quibdó, Chocó, como instructor y capacitador de estudiantes; luego se desempeñó como director de proyectos con la ONG “Ecofondo” de Holanda con la que dirigió uno en Buenaventura Valle del Cauca, el proyecto en mención fue “Plan de administración y manejo de los recursos naturales para la conservación del bosque pluvial tropical y reglamento interno”. En el año 2007, también se desempeñó como asesor en la Secretaría de Agricultura y Pesca del Valle del Cauca en el año 2005; en México, trabajó en la empresa Tecnipack como supervisor del área de producción desde el año 2008 hasta el 2011.

En Enero del 2012 ingresó a la Maestría en Ciencias para el Desarrollo Sostenible en la Universidad Autónoma Chapingo en México, con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

RESUMEN

PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN *Guazuma ulmifolia* Y EN ASOCIACIÓN CON *Leucaena leucocephala* CON DIFERENTES MÉTODOS DE FERTILIZACIÓN

Jadinson Ruíz Mosquera¹, Alejandro Lara Bueno², Juan Velázquez Mendoza³, Miguel Uribe Gómez⁴

Resumen

La intensificación de la ganadería en el mundo incrementó la carga animal y por consiguiente el consumo de alimento, generando mayor gasto económico para los productores y una degradación al ambiente por el mal manejo. Por tal razón el presente estudio, realizado en el municipio de Tamuín, San Luis Potosí tuvo el objetivo de estimar la producción de biomasa de las especies arbóreas *Guazuma Ulmifolia* y *Leucaena leucocephala*. La investigación consistió en evaluar cuatro tipos de fertilización después de la poda. Se realizaron dos experimentos, en el primero (Guácima sola) se utilizó un diseño experimental completamente al azar y en el segundo experimento (Guácima en asociación con *Leucaena*) se utilizó un experimento factorial 2*5 con el diseño experimental de bloques completamente al azar, se realizaron muestreos cada 21 días durante 3 meses para la toma de variables, los valores obtenidos se analizaron con el programa estadístico SAS con el que se determinó la anova y regresiones lineales con un nivel de significancia para las pruebas de 5% ($\alpha < 0.05$); se obtuvo la tasa de crecimiento relativa instantánea (TCRi) para cada una de las variables y el método de kjeldahl para determinar nitrógeno total y proteína bruta, encontrándose que el uso de fertilizantes produjo mayor contenido de biomasa fresca y seca, el fertilizante líquido fue el que dio mejores resultados en forma general. Por lo que se recomienda el uso de fertilizantes para obtener mayor producción de biomasa fresca y seca para la obtención de forraje.

Palabras clave: Árboles forrajeros, sistemas silvopastoriles, fertilización orgánica, fertilización química.

Abstract

The intensification of livestock in the world increased stocking rate and therefore food consumption, generating greater economic cost to producers and the environment degraded by mismanagement. For this reason the present study, conducted in the town of Tamuín, San Luis Potosi aimed to estimate biomass production of tree species *Guazuma Ulmifolia* and *Leucaena leucocephala*. The research was to evaluate four types of fertilizer after pruning. Two experiments were conducted, in the first (Guácima alone) used an experimental design completely randomized and in the second experiment (Guácima in association with *Leucaena*) was used a factorial experiment 2*5 with the completely randomized block experimental design, were performed sampling every 21 days for 3 months and in each one were measured all the variables, the values obtained were analyzed with the statistical program SAS with the ANOVA and linear regression with a significance level for tests of 5% was determined ($\alpha < 0.05$); the instantaneous relative growth rate (TCRi) was obtained for each of the variables and the kjeldahl method to determine total nitrogen and crude protein, it was found that the fertilizers application produced higher fresh and dry biomass production, the liquid fertilizer was the gave better results in general. As fertilizer use was recommended to obtain better results in the production of fresh and dry biomass for fodder.

Key words: Forage trees, silvopastoril system, organic fertilization, chemical fertilization.

¹ Tesista

² Director, Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, UACH

³ Asesor, Programa Forestal, Colegio de Postgraduados

⁴ Asesor, Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, UACH

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Objetivos del Estudio.....	4
1.3 Hipótesis.....	5
2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	6
2.1 Biomasa.....	6
2.2 Fertilizantes.....	6
2.2.1 Tipos de fertilizantes	6
2.2.2 Fertilizantes según su composición:.....	7
2.2.3 Fertilizantes según sus características físicas:.....	8
2.3 Abonos.....	9
2.4 Fertirrigación	9
2.5 Forraje.....	10
2.5.1 Árboles y arbustos forrajeros.....	10
2.6 Sistemas agroforestales.....	11

2.6.1 Clasificación de los sistemas agroforestales.....	11
3. MARCO REFERENCIAL	12
3.1 Árboles multipropósito	12
4. MATERIALES Y MÉTODOS	15
4.1 Localización del área de estudio	15
4.2 Metodología	16
4.3 Experimento I: Cultivo de guácima y pasto estrella.....	16
4.4.1 Distribución de los bloques en campo para el experimento II.....	22
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
5.1 Experimento 1 Guácima.....	30
5.2 Experimento II: Guácima en asociación con Leucaena.....	37
5.2.1 Guácima	37
5.2.2 Leucaena.....	41
6. CONCLUSIONES.....	49
7. RECOMENDACIONES	50
8. LITERATURA CITADA.....	50

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos y cantidades de fertilizante aplicadas por planta.....	18
Cuadro 2. Distribución de los tipos de fertilización en cada uno de los bloques de tratamientos para el experimento I.	19
Cuadro 3. Tratamientos y cantidades de fertilizante aplicado por planta.	24
Cuadro 4. Distribución de los tipos de fertilización en cada uno de los bloques de tratamiento para guácima.....	27
Cuadro 5. Distribución de los tipos de fertilización en cada uno de los bloques de tratamiento para leucaena.....	27
Cuadro 6. Tasa de crecimiento relativo instantáneo (TCRi) de la biomasa aérea de Guácima con relación al tipo de fertilización aplicado.	31
Cuadro 7. Tasa de crecimiento relativa instantánea para altura y diámetro en guácima.....	33
Cuadro 8. Comparación de medias para altura de la planta de Guácima.	34
Cuadro 9. Comparación de medias del diámetro basal de la planta de guácima.	34
Cuadro 10. Ecuaciones de regresión lineal para el rendimiento de biomasa verde y seca de Guácima en el experimento I.	35
Cuadro 11. Extracción de Nitrógeno en Guácima. Experimento I	36
Cuadro 12. Diferencias entre pesos frescos y pesos secos de Guácima y Leucaena.....	38

Cuadro 13. Extracción de nitrógeno en Guácima asociada. Experimento II.....	43
Cuadro 14. Extracción de Nitrógeno en Leucaena asociada con Guácima. Experimento II	45
Cuadro 15. Tasa de crecimiento relativa instantánea para la altura de la planta y diámetro basal de Leucaena. Experimento II	46
Cuadro 16. Comparación de medias peso seco Guácima asociada con Leucaena. Experimento II	47
Cuadro 17. Comparación de medias peso seco Leucaena. Experimento II	47
Cuadro 18. Análisis de varianza del experimento factorial en bloques completamente al azar, para peso fresco. Experimento II	48
Cuadro 19. Análisis de varianza para peso seco interacción de las dos especies	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de Tamuín, SLP.....	15
Figura 2. Distribución de los bloques en el área experimental	17
Figura 3. Experimento I. Distribución de las unidades experimentales para la asociación guácima con pasto estrella.....	17
Figura 4. Distribución de bloques de tratamientos para el experimento II.	22
Figura 5. Experimento II. Distribución de las unidades experimentales para la asociación guácima, leucaena y pasto estrella.	23

1. INTRODUCCIÓN

El uso de árboles multipropósito y arbustos forrajeros es una práctica conocida por los productores agropecuarios de diferentes países para satisfacer sus necesidades y garantizar materia prima en sus procesos de producción y abastecimiento de alimento para el ganado. Por ejemplo, Araya *et al.* (1994) identificaron 51 especies arbóreas forrajeras en la región de Puriscal, Costa Rica, de las cuales 30 se utilizan para leña, 15 son ornamentales, 14 como cercas vivas, 12 para consumo humano, 11 tienen uso medicinal, 10 proporcionan sombra, 7 para reforestación, 6 para artesanía, 5 para protección de cultivos y 4 como alimento de aves y conejos, demostrando la gran variedad de usos e importancia de éstos.

Para el caso de México, diversas investigaciones (Pinto *et al.*, 2002; Carranza *et al.*, 2003; Sosa *et al.*, 2008) señalan que las especies arbóreas de uso múltiple se encuentran en los agro ecosistemas tradicionales manejados por los productores rurales de subsistencia con los cuales se obtienen productos de mejor calidad y un ingreso extra que les permite obtener productos externos a sus sistemas.

En el mismo sentido, Jiménez (2000) menciona que existe una gran diversidad de especies arbóreas y arbustivas que son utilizadas de forma integral en los sistemas de producción de las comunidades indígenas de México, cuyos pobladores tienen un amplio conocimiento tradicional en torno a sus diversos usos, ya que cumplen múltiples funciones culturales económicas y de servicio.

En este caso, la guácima (*Guazuma ulmifolia*) y la leucaena (*Leucaena leucocephala*) son dos especies muy importantes por sus bondades y beneficios que proporcionan a los productores, resaltando los usos para leña, sombra y en particular, suministran y aseguran forraje de calidad para el ganado de manera permanente (Del Pozo y Álvarez, 2014). Son estas características que las hacen muy atractivas a los productores.

Para obtener estos beneficios es importante que las plantas puedan desarrollar su potencial productivo de manera óptima, situación que muchas veces no se da por la deficiencia de nutrientes en el suelo, motivo por el cual es conveniente fertilizar para el buen desarrollo de la planta arbórea. La fertilización adecuada ayuda a conseguir este objetivo y además se pueden obtener los beneficios siguientes:

- Asegurar la productividad y calidad nutricional de los cultivos, ofreciendo seguridad alimentaria e incrementando el contenido nutrimental de las cosechas.
- Evitar la necesidad de incrementar la superficie agrícola mundial, ya que sin los fertilizantes habría que destinar millones de hectáreas adicionales a la agricultura.
- Conservar el suelo y evitar su degradación y, en definitiva, mejorar la calidad de vida del agricultor y de su entorno.
- Contribuir a la mayor producción de materia prima para la obtención de energías alternativas.

1.1 Planteamiento del problema

En el mundo se ha intensificado la ganadería para suplir las necesidades de las comunidades, llevando a los productores al incremento en cabezas de ganado y por consiguiente el aumento en las proporciones de alimentos para suplir a éstas. En su mayoría el alimento se compra, no se produce por el productor, lo que genera un mayor gasto económico, situación que reduce la rentabilidad, aunado a esto algunos productores talan una gran cantidad de árboles para generar más espacio para su ganado, situación que lleva a la degradación del medio ecológico por acción de pisoteo y en ocasiones estrés en los animales por falta de sombra; en el caso de los pequeños productores algunos no cuentan con la información suficiente sobre el manejo de los sistemas silvopastoriles y las ventajas que pueden obtener dándole un manejo adecuado a los elementos de sus sistema, teniendo en cuenta que en los sistemas silvopastoriles la producción total de biomasa es usualmente mayor que la de los monocultivos. (Giraldo *et al*, 1998; Pezo *et al.*, 1990).

En el caso de los árboles y arbustos, los productores en su gran mayoría no contempla la fertilización porque asumen que ellos cubren sus requerimientos por sí mismos, sin tener en cuenta que cuando éstos son sometidos al pastoreo, se convierten en sistemas de producción intensivos y en este caso es cuando más requieren un mejor manejo, el cual les permita un desarrollo y producción adecuada; en este punto es donde la fertilización tiene un papel fundamental.

Por esta razón, se hace indispensable evaluar la respuesta productiva de biomasa de guácima y leucaena con diferentes tipos de fertilización. Lo que aportará información que ayudará a los productores a obtener mejores resultados en cuanto al manejo de las especies arbóreas utilizadas.

1.2 Objetivos del Estudio

General

- Estimar la producción de biomasa de las especies arbóreas ***Guazuma ulmifolia*** y ***Leucaena leucocephala*** aplicando cuatro tipos de fertilización después de la poda.

Específicos

- Estimar el rendimiento de biomasa fresca y seca de *Guazuma ulmifolia* y *Leucaena leucocephala* en respuesta a diferentes tipos de fertilización.
- Estimar la tasa de crecimiento relativo instantáneo de las especies *Guazuma ulmifolia* y *Leucaena leucocephala*.
- Evaluar la calidad de la biomasa de *Guazuma ulmifolia* y *Leucaena leucocephala* con base a la proteína bruta.

1.3 Hipótesis

- Las especies *Guazuma ulmifolia* y *Leucaena leucocephala* tienen una capacidad de producción de biomasa diferente en respuesta a la fertilización.
- La producción de biomasa de *Guazuma ulmifolia* y *Leucaena leucocephala* es similar entre los diferentes métodos de aplicación.
- La tasa de crecimiento relativa instantánea de la biomasa es similar en *Guazuma ulmifolia* y *Leucaena leucocephala*.
- La fertilización óptima balanceada incrementa el contenido de proteína bruta en la *Guazuma ulmifolia* y *Leucaena leucocephala*.

2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Biomasa

La materia orgánica se origina mediante procesos biológicos inducidos, para después utilizarse como fuente de energía. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esa energía química queda almacenada en forma de materia orgánica; la energía química de la biomasa puede recuperarse quemándola directamente o transformándola en combustible. Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano (Margalef, 1985)

2.2 Fertilizantes

Los fertilizantes son fuentes de nutrimentos de origen mineral y creados por la mano del hombre, por el contrario, los abonos son creados por la naturaleza y pueden ser de origen vegetal, animal o mixto. Son toda sustancia, tanto orgánica (estiércol, turba, abono verde) como mineral (salitre, fosfato, yeso) que se aplica para mejorar la fertilidad del suelo con el propósito de obtener altos rendimientos agrícolas (FAO, 2002).

2.2.1 Tipos de fertilizantes

Los fertilizantes se clasifican por: origen (inorgánico y orgánico), composición (puros y compuestos), características físicas (líquidos y sólidos) y sus usos a los que están destinados.

Fertilizantes orgánicos e inorgánicos

Los fertilizantes se clasifican o se dividen en dos grupos según su origen:

Los fertilizantes inorgánicos son llamados también fertilizantes químicos y pueden ser de origen natural extraídos de la tierra, como el nitrato; o bien son sintéticos, elaborados por el hombre.

Las plantas no distinguen entre procedencia natural o sintética, y ambos se descomponen antes de ser absorbidos. Generalmente, los de tipo orgánico son de acción rápida y estimulan el crecimiento y vigor de las plantas.

Los fertilizantes orgánicos pueden ser de origen animal o vegetal (composta, abonos verdes). La mayoría son de acción lenta, pues proporcionan nutrientes que se liberan durante la mineralización de la materia orgánica, la cual se lleva a cabo por las bacterias del suelo, antes de ser absorbidos por las raíces. Como estos organismos no actúan en suelos fríos, ácidos o empapados, su efectividad y rapidez de acción dependerá del terreno.

2.2.2 Fertilizantes según su composición:

Simples

Los fertilizantes simples están formados por un solo ingrediente activo. Generalmente contiene un solo nutriente y pequeñas cantidades de otros (como la harina de hueso).

Compuestos

Los fertilizantes compuestos están formados por mezclas de ingredientes activos, y generalmente contienen tres de los nutrimentos vegetales (Nitrógeno N, Fósforo P y Potasio K). Muchos de ellos contienen al mismo tiempo fuentes de sustancias nutritivas de acción rápida y lenta, lo que les permite mantener su acción nutritiva por más tiempo.

2.2.3 Fertilizantes según sus características físicas:

Fertilizantes Sólidos

Existe una amplia gama de fertilizantes sólidos: en polvo y granulados. Los polvos actúan más rápidamente que los granulados, pero son más incómodos de usar. Ambos se esparcen sobre el suelo con la mano o con equipo atomizador.

Fertilizantes Líquidos

Los fertilizantes líquidos se aplican directamente sobre las plantas (fertilización foliar) o disueltos en agua mediante el sistema de riego (fertirrigación). Las ventajas de la fertilización foliar son la alta eficiencia cuando son aplicados directamente al follaje. Uno de los problemas mayores en su aplicación es el daño en hojas y/o frutos, que se causa por alta concentración de las soluciones que se preparan.

La fertilización foliar es usada para:

- Corregir deficiencias rápidamente
- Frente a problemas de excesiva “fijación” por parte del suelo.
- Frente a una inadecuada absorción de las raíces (por baja temperatura o daños).

2.3 Abonos

Son aquellas sustancias que desempeñan diversas funciones, directas o indirectas e influyen en el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y en el crecimiento de las plantas.

Los fertilizantes se componen de tres elementos básicos: Nitrógeno, Fósforo y Potasio; a estos tres elementos se les denomina elementos mayores o fundamentales, porque siempre está presente alguno de los tres o los tres en cualquier fórmula de fertilizantes.

2.4 Fertirrigación

La fertirrigación es una técnica de aplicación de abonos disueltos en el agua de riego a los cultivos. El objetivo principal de la fertirrigación es el aprovechamiento del flujo de agua del sistema de riego para transportar los elementos nutritivos que necesita la planta hasta el lugar donde se desarrollan las raíces, con lo cual se optimiza el uso del agua, los nutrimentos y la energía, y se reducen la contaminación si se manejan adecuadamente.

2.5 Forraje

Forraje puede referirse a:

- El pasto como alimento herbáceo que consume el ganado.
- Los árboles que se utilizan para alimentar al ganado empleando el follaje, los frutos, las hojas u otras partes comestibles.
- El pienso conservado hecho a base de plantas que se utilizan como alimento para el ganado.
- El heno hecho de pasto secado al sol.
- Los ensilajes conservados a través de un proceso de fermentación.

2.5.1 Árboles y arbustos forrajeros

En el desarrollo de la agroforestería, los árboles y arbustos fijadores de nitrógeno (AFN) pueden asociarse con cultivos agrícolas (Sistema Agroforestal), con pasturas para pastoreo (Sistema Silvopastoriles), ser mantenidos alternando entre cultivos agrícolas y pasturas (Sistema Agrosilvopastoril) y también como bancos forrajeros y como cercas vivas. Esto es debido a su gran variedad de productos y usos como: leña, carbón, madera, frutos, productos medicinales e industriales, tutores de cultivos, sombra, división de lotes y demarcación de linderos en fincas, barreras rompeviento, control de erosión, refugio de avifauna silvestre, reciclaje de nutrientes, etc. Además, el follaje de algunos de ellos puede ser cosechado, bajo corte o pastoreo directo, para la suplementación animal (Jiménez, 2008).

2.6 Sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales son una práctica tradicional principalmente en regiones tropicales y subtropicales, no se trata de un concepto nuevo, sino más bien de un término nuevo empleado para designar un conjunto de prácticas y sistemas de uso de la tierra. No obstante, las numerosas técnicas agroforestales también son empleadas en regiones con diversas condiciones ecológicas y económicas (CATIE, 1991).

2.6.1 Clasificación de los sistemas agroforestales

Asociación de cultivos

Realización simultánea de dos o más cultivos distintos en la misma parcela. Puede estar motivada por criterios técnicos o económicos.

Cultivo en callejones

El cultivo en callejón es un sistema de producción en el cual los árboles y los arbustos, preferentemente de rápido crecimiento, son establecidos en setos vivos sobre tierras arables, con cultivos sembrados en los callejones entre los setos vivos. Los beneficios que se generan con éstos pueden ser: Incremento de nitrógeno en el suelo, control de malezas, barrera rompevientos, forraje y leña, incremento de la humedad disponible, ayuda a lograr mejores cosechas que los sistemas convencionales (Krishnamurthy *et al.*, 2012).

Sistemas silvopastoriles

Los sistemas silvopastoriles son una combinación natural o una asociación deliberada de uno o varios componentes leñosos (arbustivos y/o arbóreos) dentro de una pastura de especies de gramíneas y de leguminosas herbáceas nativas o cultivadas y su utilización.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1 Árboles multipropósito

Los árboles y arbustos, principalmente las leguminosas, son de vital interés en los sistemas de producción animal y su importancia se acrecienta en aquellas áreas, donde la existencia de climas con una estación seca marcada y las dificultades con el manejo de los pastizales, han hecho fracasar los intentos investigativos de encontrar plantas de alto valor nutritivo y que son capaces de persistir en los sistemas de producción animal (Hernández, 2000 citado por Castillo, 2008).

Los árboles y arbustos forrajeros han sido reconocidos como un recurso estratégico para la ganadería, que puede contribuir, mediante su follaje y frutos, a resolver las restricciones de alimento en épocas críticas. De igual manera, este recurso contribuye a desarrollar sistemas ganaderos más fuertes, propiciando el uso de múltiples recursos ambientales. En otras regiones del mundo, diversos estudios han resaltado la alta diversidad de especies de árboles forrajeros en sistemas tradicionales ganaderos, y el profundo conocimiento local de los

productores para manejar estos árboles de manera integrada a sus sistemas (Castillo, 2008).

Las tendencias actuales de la producción agropecuaria hacen énfasis en modelos que muestran un desarrollo armónico entre los aspectos sociales, ambientales y económicos. Se requiere diseñar y multiplicar sistemas productivos con capacidad de incrementar el ingreso neto, mejorar el nivel alimenticio familiar a nivel del pequeño campesino y generar nuevas fuentes de trabajo rural al mismo tiempo que se protege y mejoran los recursos naturales (Castillo, 2006 citado por Castillo 2008).

Árboles de uso múltiples (AUMs) son aquellas plantas perennes leñosas que se emplean en agroforestería, incluye no solo árboles y arbustos, palmas, pastos leñosos como la guadua y algunos bejucos como el "ataja danta" (*Desmoncus sp.*) (Wood y Burley, 1995).

Los árboles multipropósito son ejemplo de un inmenso potencial natural en las regiones tropicales del mundo. Para ser considerada una especie como tal, debe producir un sin número de productos diferentes e importancia tanto para los humanos como para los animales, dentro de los que se destacan: proporcionar madera, fuente de alimentos, forraje, miel, guano, aceites, utilizarse como medicinales, etc. (Farell, 1996; Gómez *et al.*, 1995, citado por Castillo 2008).

En la actualidad existe un sin número de especies de árboles que se han introducido en la ganadería tropical, con el objetivo de incrementar la biodiversidad

de animales y vegetación por área, lograr un mayor aprovechamiento del recurso suelo e incrementar el rendimiento de carne y leche por unidad de superficie y otros productos, además de los beneficios medioambientales que proporciona el árbol (Castillo, 2006).

La guácima (*Guazuma ulmifolia*) es un árbol de la familia Sterculiaceae, de porte pequeño a mediano, que puede alcanzar hasta 15 m de altura y crece muy bien en zonas cálidas con temperaturas promedios de 24 °C, de 700 a 1500 mm de precipitación/año y desde el nivel del mar a los 1200 m de altitud. Se da en suelos de texturas livianas y pesadas, con buen drenaje, no pedregosos y pH superior a 5.5. Sus hojas y frutos son comestibles y palatables para el ganado, poseyendo cerca de 17% de proteína bruta, con una digestibilidad de 40-60% (Silvoenergía, 1986).

La leucocephala (*Leucaena leucocephala*) es una leguminosa arbórea de valor nutritivo alto, y puede ser utilizada eficientemente en la alimentación animal por su gran potencial para producir materia seca y fijar nitrógeno, mejorando así la dieta diaria de las especies domésticas que consumen pastos de baja calidad en los trópicos (Shelton *et al.*, 1991).

4. MATERIALES Y METÓDOS

4.1 Localización del área de estudio

Este experimento se llevó a cabo en la Unidad Experimental Agropecuaria “El Gargaleote” propiedad de la Universidad Autónoma Chapingo que se encuentra ubicada en el municipio de Tamuín, el cual se localiza en la porción oriental del país, conocida como Huasteca del Estado de San Luis potosí, en las coordenadas geográficas latitud norte 22°00'69” y longitud oeste 98°78'86”, a una altitud media de 20 metros y precipitación media anual de 700 mm (García, 1981). El municipio de Tamuín colinda al norte con el Estado de Tamaulipas, al sur con San Vicente Tancuayalab y Tanlajas, al este con el municipio de Ébano y al oeste con Ciudad Valles (INEGI, 2005).



Figura 1. Ubicación geográfica de Tamuín, SLP (INEGI, 2005).

4.2 Metodología

El trabajo se desarrolló en dos áreas donde se encuentran establecidas plantaciones de guácima (*Guazuma ulmifolia*) con pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*; experimento I), y guácima asociada con leucaena (*Leucaena leucocephala*) y pasto estrella (experimento II), establecidas en un diseño silvopastoril intensivo como variante de pasturas en callejones. El arreglo de establecimiento de la guácima es; a doble hilera, a un metro entre hileras y un metro entre plantas, con callejones de cuatro metros establecidos con pasto estrella; la densidad de población de la guácima es de 4,000 plantas por hectárea.

En el caso de la asociación guácima, leucaena y pasto estrella, las doble líneas de las arbóreas se encuentran intercalados con guácima a un metro entre hileras y entre plantas, y leucaena a un metro entre hileras y a 10 cm entre plantas, con una separación entre dobles hileras de cuatro metros y un área total de media ha para una densidad de población de 2,000 plantas de Guácima y 26,000 plantas de leucaena.

4.3 Experimento I: Cultivo de guácima y pasto estrella

El diseño experimental consistió en parcelas divididas, donde la parcela grande fue un bloque de cinco metros de ancho por 25 de largo, con cinco repeticiones, y la parcela chica fue un área de cinco metros conteniendo 10 árboles de guácima por parcela, donde la unidad experimental fue cada árbol muestreado. La evaluación se hizo en cinco periodos de muestreo.

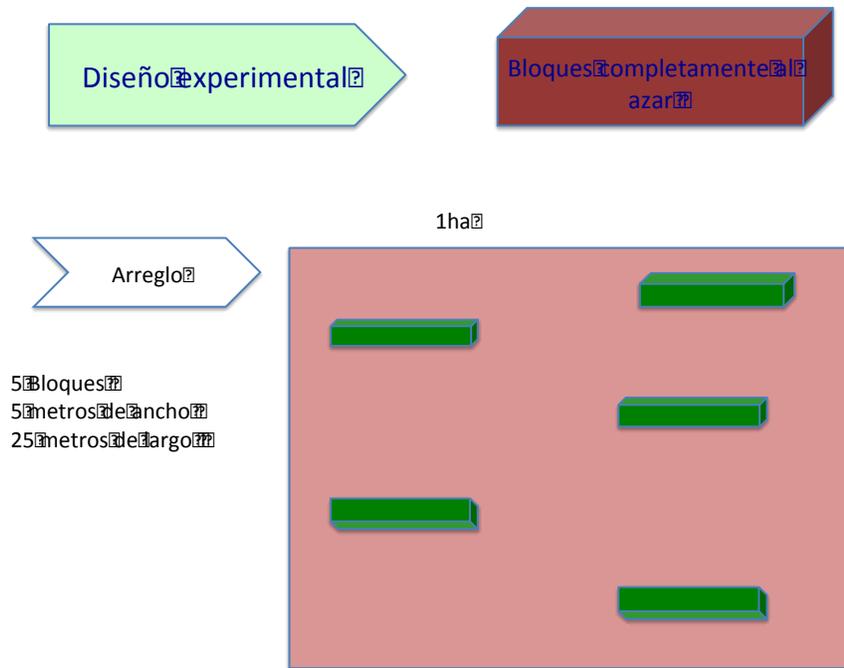


Figura 2. Distribución de los bloques en el área experimental

DISEÑO EXPERIMENTAL

Experimento I

Área experimental: 1ha con un diseño en callejones de Guácima con pasto estrella

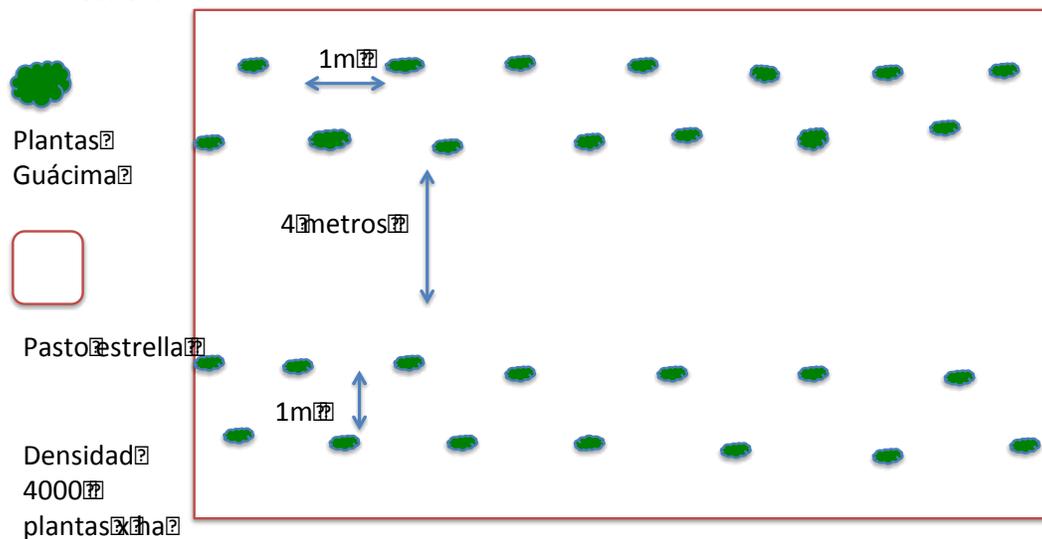


Figura 3. Experimento I. Distribución de las unidades experimentales para la asociación guácima con pasto estrella

Cuadro 1. Tratamientos y cantidades de fertilizante aplicadas por planta

Tratamiento	Cantidad por planta
Testigo	
Fertilización Foliar	166 mL
Fertilización Sólida	250 g
Fertilización Orgánica	700 g
Fertilización Líquida al suelo	1 L

Las siguientes cantidades están calculadas para 50 plantas una vez analizados los requerimientos nutrimentales de la guácima para su óptimo desarrollo:

Tratamiento sólido

Fosfato mono potásico 544g

Fosfato mono amónico 77 g

Sulfato de magnesio 11 kg

Sulfato de amonio 938 g

Superfosfato de calcio triple 393 g

A cada planta se le aplicaron 250 g de la mezcla después de realizado el cajeteo y se cubrió para evitar la volatilización.

Tratamiento orgánico

Éste se realizó con estiércol de borrego y la cantidad a aplicar se determinó teniendo en cuenta las necesidades de la planta y las cantidades de nutrimentos con que cuenta éste.

Tratamiento Foliar

Este fertilizante se preparó adicionando cinco mL de cada uno de los concentrados de Crecifor en dos litros de agua; éste fue rociado en las hojas de cada planta en cantidades de 166 mL de concentrado por planta aproximadamente hasta cubrir totalmente el área foliar.

Tratamiento líquido.

Fosfato mono potásico 2640 g/42 L

Fosfato mono amónico 293 g/42 L

Sulfato de magnesio 1680 kg/42 L

Fosfonitrato 1704 g/ 42 L

Nitrato de calcio 2653 g/42 L

Micro nutrientes (mL)1008

Fe (mL) 1008

Esta mezcla se aforó con agua a la cantidad necesaria para agregarle un litro a cada planta.

Cuadro 2. Distribución de los tipos de fertilización en cada uno de los bloques de tratamientos para el experimento I.

BI	T2	T3	T4	T1	T5
BII	T4	T5	T1	T3	T2
BIII	T5	T3	T1	T4	T2

BIV	T2	T1	T4	T3	T5
BV	T3	T4	T5	T1	T2

PERIODO DE APLICACIÓN

La primera fertilización se realizó el primer día después de la poda de cada árbol; la segunda y tercera fertilización se hizo a los 30 y 60 días después de la aplicación de la primera fertilización, aplicando una tercera parte de la dosis total en cada aplicación para cada árbol.

Muestreos

Se realizaron cinco muestreos de biomasa cada 21 días a partir de la primera fertilización. La unidad experimental para cada periodo de muestreo fueron dos árboles seleccionados al azar dentro de cada tratamiento.

Variables

Las variables a medir fueron:

- ❖ Morfológicas: Altura de la planta, Diámetro basal del tallo, Número de rebrotes y Relación hoja tallo.
- ❖ Rendimiento: Biomasa verde y biomasa seca, tasa de crecimiento relativa instantánea.
- ❖ Calidad: Contenido de nitrógeno y proteína en hojas y tallo

Modelo experimental:

El modelo experimental fue: $Y_{ij} = u + T_i + B_j + (TB)_{ij} + e_{ij}$

Donde:

Y_{ij} = la variable de respuesta para el *i*-ésimo tratamiento anidado en el *j*-ésimo bloque,

u = la media general,

T_i = efecto del *i*-ésimo tipo de fertilización ($i= 1,2...5$),

B_j = efecto del *j*-ésimo bloque ($j= 1, 2...5$),

$(T*B)_{ij}$ = efecto de la interacción del *i*-ésimo tipo de fertilización con el *j*-ésimo bloque de tratamientos,

e_{ijk} = error experimental.

4.4. Experimento II: Cultivo de guácima asociada con leucaena y pasto estrella

En este experimento se construyeron seis bloques al azar: tres para guácima y tres para leucaena, distribuidos en media hectárea de terreno; cada bloque contó con un área de cinco metros de ancho por 30 de largo, y fue dividido en dos sub bloques de 5 por 15 m; cada sub-bloque se dividió en cinco parcelas de cinco metros de ancho por tres de largo, en las cuales se ubicaron 30 árboles de guácima y 300 árboles de leucaena. Cada tratamiento tuvo 5 árboles de guácima y 60 árboles de leucaena por parcela, a los cuales se les aplicaron cada uno de los

tratamientos. El muestreo consideró la remoción de la biomasa y conteo de variables morfológicas de una planta de guácima y 12 árboles de leucaena en cada periodo de muestreo (21, 42, 63, 84 y 105 días después de la poda).

4.4.1 Distribución de los bloques en campo para el experimento II.

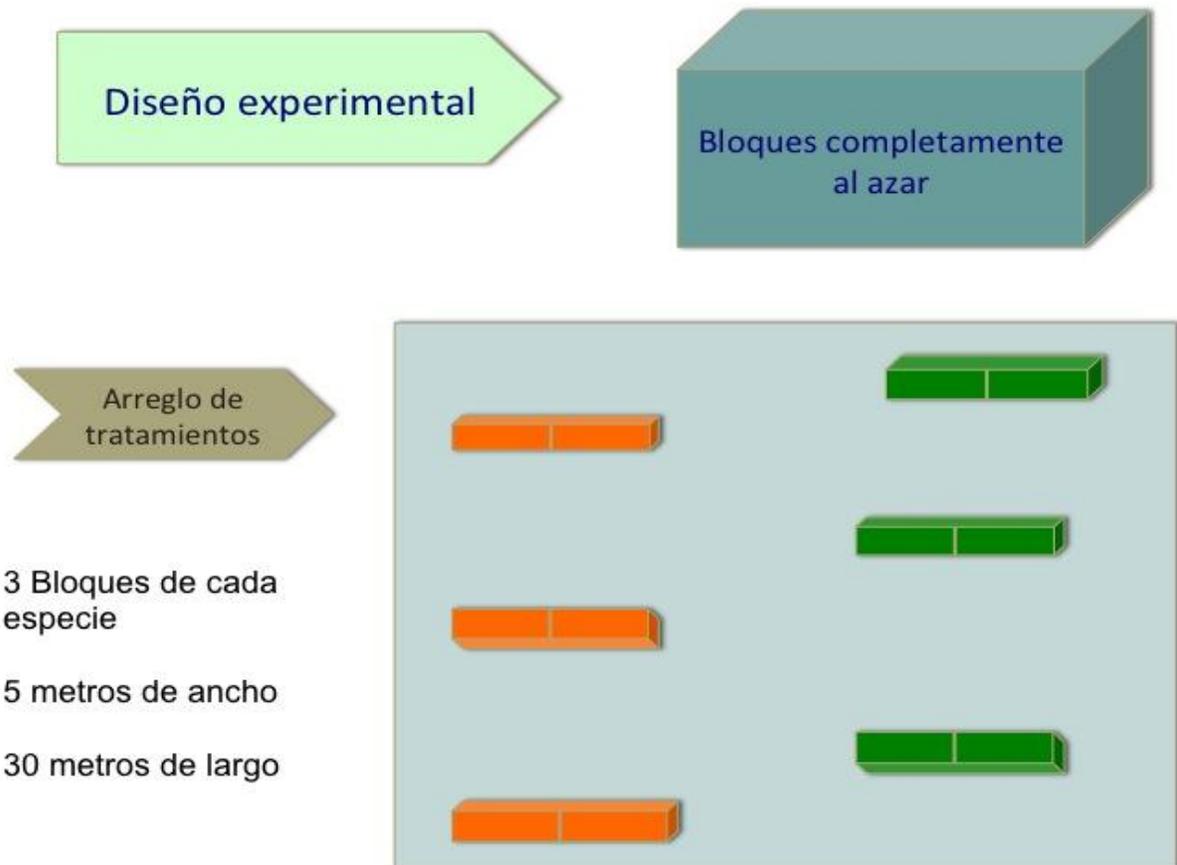


Figura 4. Distribución de bloques de tratamientos para el experimento II.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Experimento II

Área experimental es de media ha (100x50) diseño en callejones Guazima-Leucaena y pasto estrella

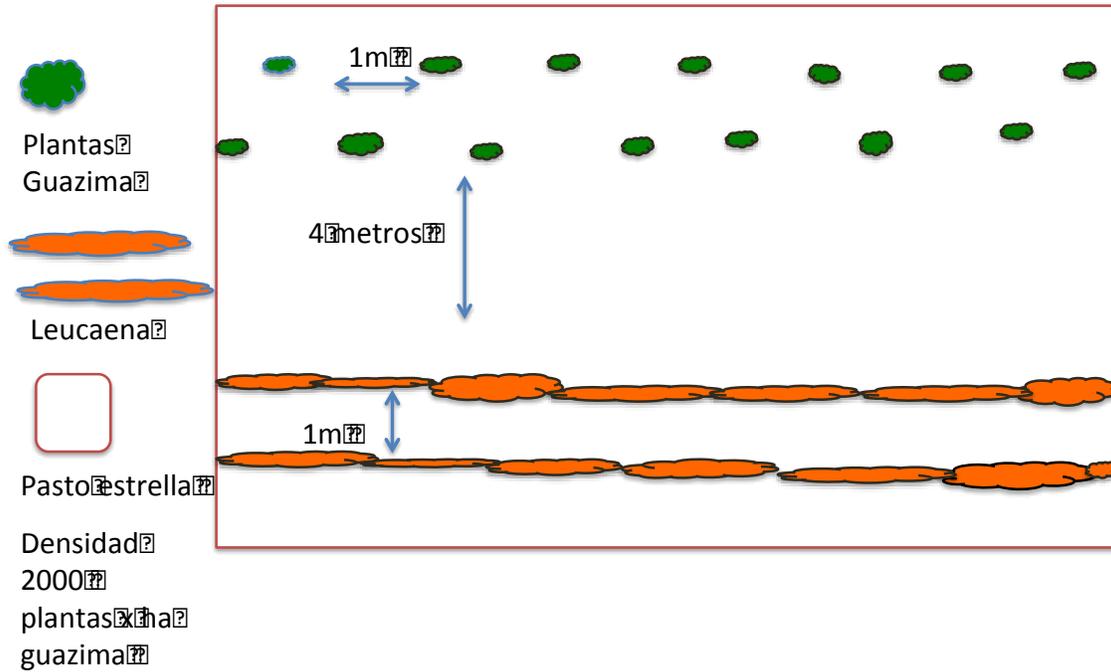


Figura 5. Experimento II. Distribución de las unidades experimentales para la asociación guácima, leucaena y pasto estrella.

TRATAMIENTOS

En el cuadro 3 se observan los diferentes tipos de tratamientos (fertilizantes) que fueron aplicados en las parcelas y la cantidad aplicada por planta.

Cuadro 3. Tratamientos y cantidades de fertilizante aplicado por planta.

Tratamiento	Cantidad de fertilizante por planta
	Guácima
T1=Testigo	
T2=Fertilización Foliar	166 mL
T3=Fertilización Sólida	250 g
T4=Fertilización Orgánica	700 g/metro lineal
T5=Fertilización Líquida al suelo	1 L
	Leucaena
T1=Testigo	
T2=Fertilización Foliar	166 mL
T3=Fertilización Sólida	250 g
T4=Fertilización Orgánica	800 g/metro lineal
T5=Fertilización Líquida al suelo	1 L

Dosis de fertilizante sólido para guácima (T3)

Fosfato mono potásico 544g

Fosfato mono amónico 77 g

Sulfato de magnesio 11 kg

Sulfato de amonio 938 g

Superfosfato de calcio triple 393 g

A cada planta se le aplicó 250 g de esta mezcla de fertilizante después de realizado el cajeteo y se cubrió con tierra.

Dosis para leucaena:

Fosfato mono potásico 2150g

Fosfato mono amónico 309 g

Sulfato de magnesio 2004 g

Sulfato de amonio 3719 g

Superfosfato de calcio triple 72 g

Donde se aplicaron 115 g por metro lineal

Abono orgánico para guácima

Se utilizó estiércol de borrego y la cantidad a aplicar se determinó considerando las necesidades de nutrientes de las plantas y el contenido de nutrientes del estiércol composteado.

Abono orgánico para leucaena (T4)

Se adicionaron 800 gramos de estiércol de borrego por metro lineal.

Fertilización foliar para guácima y leucaena (T2)

El fertilizante se preparó adicionando 5 mL de cada uno de los ingredientes de la fórmula en dos litros de agua y se aplicó sobre las hojas de las plantas en cantidades de 166 mL de concentrado para cada aplicación.

Fertilización líquido para guácima (T5)

Fosfato mono potásico 2640 g/42 L

Fosfato mono amónico 293 g/42 L

Sulfato de magnesio 1680 kg/42 L

Fosfonitrato 1704 g/ 42 L

Nitrato de calcio 2653 g/42 L

Micro nutrientes (mL)1008

Fe (mL) 1008

Tratamiento líquido para leucaena

Fosfato mono potásico 2640 g/42 L

Fosfato mono amónico 293 g/42 L

Sulfato de magnesio 1680 Kg/42 L

Fosfonitrato 1704 g/ 42 L

Nitrato de calcio 2653 g/42 L

Micronutrimientos (mL) 1008

Fe (mL) 1008

Esta mezcla fue aforada con agua a la cantidad necesaria para agregarle un litro de solución a cada planta.

Distribución de bloques y tratamientos en campo (Cuadro 4)

Cuadro 4. Distribución de los tipos de fertilización en cada uno de los bloques de tratamiento para guácima.

BI	T1	T4	T3	T2	T5	BIV	T4	T2	T5	T1	T3
BII	T5	T3	T1	T2	T4	BV	T5	T2	T4	T1	T3
BIII	T1	T5	T2	T3	T4	BVI	T4	T3	T2	T1	T5

T1=Testigo; T2=Fertilización Foliar; T3=Fertilización Sólida; T4=Fertilización Orgánica; T5=Fertilización Líquida al suelo

Cuadro 5. Distribución de los tipos de fertilización en cada uno de los bloques de tratamiento para leucaena.

BI	T2	T5	T1	T4	T3	BIV	T2	T1	T4	T5	T3
BII	T1	T3	T5	T4	T2	BV	T1	T2	T5	T4	T3
BIII	T4	T3	T5	T2	T1	BVI	T3	T1	T5	T2	T4

T1=Testigo; T2=Fertilización Foliar; T3=Fertilización Sólida; T4=Fertilización Orgánica; T5=Fertilización Líquida al suelo

PERIODO DE APLICACIÓN

La primera fertilización se realizó el primer día después de la poda de cada árbol; la segunda y tercera fertilización se hizo a los 30 y 60 días después de la aplicación de la primera fertilización, aplicando una tercera parte de la dosis total en cada aplicación para cada árbol.

Muestreos

Se realizaron cinco muestreos de biomasa cada 21 días a partir de la primera fertilización. La unidad experimental para cada periodo de muestreo fueron dos árboles seleccionados al azar dentro de cada tratamiento

Variables

Las variables a medir fueron:

- ❖ Morfológicas: Altura de la planta, Diámetro basal del tallo, Número de rebrotes y Relación hoja tallo.
- ❖ Rendimiento: Biomasa verde y biomasa seca, tasa de crecimiento relativa instantánea
- ❖ Calidad: Contenido de nitrógeno en hojas y tallo, proteína total.

La ecuación utilizada para determinar la eficiencia de producción de biomasa en cada uno de los tratamientos fue la propuesta por Hunt (1978), para lo cual se construyó la regresión lineal del logaritmo natural (Ln) peso total de la planta a través del tiempo de muestreo que en este caso fueron 105 días. El modelo funcional que se utilizó fue:

$$\text{Ln } w = a + bx$$

Donde:

Ln w= logaritmo natural del peso seco de la biomasa,

a = intercepto

b = pendiente de la recta

DDM = días de muestreo

Modelo experimental

El modelo experimental utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + B_j + (TB)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ij} = la variable de respuesta para el *i*-ésimo tratamiento anidado en el *j*-ésimo bloque,

μ = la media general,

T_i = efecto del *i*-ésimo tipo de fertilización ($i = 1, 2, \dots, 5$),

B_j = efecto del *j*-ésimo bloque ($j = 1, 2, \dots, 5$),

$(T*B)_{ij}$ = efecto de la interacción del *i*-ésimo tipo de fertilización con el *j*-ésimo bloque de tratamientos,

e_{ijk} = error experimental.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Experimento 1 Guácima

Tasa de crecimiento relativo instantáneo (TCRI). Experimento I: Guácima

En el Cuadro 6 se observa la TCRI, que indica la cantidad de gramos en peso que la planta produce por gramo de peso existente por día, como un estimador de la eficiencia de producción de biomasa fresca. Así, la TCRI del testigo fue intermedia con relación a los demás tratamientos, y los tipos de fertilización orgánica y líquida presentaron menor eficiencia en la producción de biomasa en relación con el tratamiento testigo. La eficiencia de producción de la biomasa fresca incluyó la producción de biomasa seca y la cantidad de agua. Y puesto que ambas cosas son deseables en un forraje, es importante tener esto en consideración. Por lo tanto, se puede decir que un forraje es de calidad si éste presenta un alto contenido de agua, ya que esto aumentará su succulencia y lo hará más palatable al ganado, y una vez que el ganado se lo come, el contenido de agua favorece la digestión. Por lo que, la asimilación del forraje se traducirá en un incremento de la biomasa del animal, si también ese forraje presenta un alto contenido de peso seco. Por lo que puede decirse, en forma preliminar, que los tratamientos en los que la TCRI fue más alta y por tanto más eficiente fueron la fertilización sólida seguida de la foliar.

Las TCRI menores, las presentaron las fertilizaciones líquida y orgánica, en las que se esperaba que no fuera así, ya que aportaron a la planta una cantidad

mayor de nutrimentos, que inclusive en el testigo no se aportó nada adicional al contenido natural disponible del suelo. Por lo que, tentativamente se puede considerar que el aporte nutrimental de los tratamientos de fertilización líquida y orgánica restringieron la eficiencia de la biomasa fresca, significativamente, con relación al tratamiento testigo.

La TCRi del peso seco indicó también, que el testigo tuvo una respuesta intermedia; no obstante, el tratamiento orgánico presentó la eficiencia más baja, mientras que la líquida fue la que presentó la eficiencia más alta entre los tratamientos. A partir de estos resultados se puede inferir que esta fertilización fue mejor debido a que los nutrimentos que la componen estuvieron totalmente disponibles para la planta, lo cual favoreció para tener una absorción mayor de agua y nutrimentos, lo que se tradujo en una mejor eficiencia de producción de biomasa seca.

Cuadro 6. Tasa de crecimiento relativo instantáneo (TCRi) de la biomasa aérea de Guácima con relación al tipo de fertilización aplicado.

Tipo de fertilización	TCRi Peso fresco	TCRi Peso seco
T1=Testigo	0.0214 ± 0.0351*	0.0270 ± 0.0452*
T2=Fertilización Foliar	0.0228 ± 0.0383	0.0264 ± 0.0442
T3=Fertilización Sólida	0.0242 ± 0.0401	0.0297 ± 0.0497
T4=Fertilización Orgánica	0.0191 ± 0.0322	0.0250 ± 0.0419
T5=Fertilización Líquida al suelo	0.0185 ± 0.0312	0.0322 ± 0.0539

* = limite α 0.05 T-student

Con relación al segundo tratamiento más eficiente, que fue la fertilización sólida, se puede inferir que fue menor debido a que ésta no incluyó los microelementos, los cuales pudieron restringir el potencial de rendimiento de la planta. Puesto que no se observaron deficiencias nutrimentales en ningún tratamiento. Se puede decir que el potencial productivo del suelo fue bueno y por ello la eficiencia productiva del testigo presentó valores intermedios.

El suelo fue de textura franco arcilloso con pH neutro (7.2), con una conductividad eléctrica promedio de 500 μ s. La zona donde se instaló el experimento presenta un clima subtropical con una precipitación media de 700 mm anuales; por lo que es posible indicar que existió una lixiviación nutrimental edáfica importante, la cual si no ocasionó deficiencias nutrimentales, si causó restricción en la producción de Guácima, ya que una fertilización nutricionalmente balanceada y completa (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, B, Zn, Mn y Mo) incrementó la eficiencia en la producción de biomasa seca significativamente.

Es evidente que la aplicación de nutrimentos al suelo mejoró la eficiencia productiva de la Guácima y ésta dependió del balance nutrimental de la fórmula de fertilización, de la cantidad de nutrimentos del fertilizante y del tipo de aplicación.

En el Cuadro 7 se observa que el fertilizante foliar presentó una mayor TCRi, tanto en la altura de la planta como en el diámetro basal. Es posible considerar que la fertilización foliar favoreció a incrementar el contenido de agua (alta TCRi peso fresco) y éste a su vez estimuló el crecimiento de la planta a través de la longitud

del tallo y el grosor del mismo. Estas características son deseables, sobre todo en un sistema de pastoreo, ya que se tiene una planta con mayor tolerancia al pisoteo y jaloneo de los ovinos. Con relación al testigo, se observó que éste tuvo una TCRi en altura alta y una TCRi en diámetro basal baja, lo que se podría interpretar como plantas de estructura alta y delgada. Situación que no es deseable para condiciones de pastoreo.

Cuadro 7. Tasa de crecimiento relativa instantánea para altura y diámetro en guácima.

Tipo de fertilización	Altura de la planta	Diámetro basal
T1=Testigo	0.0080 ± 0.0023	0.0108 ± 0.0028
T2=Fertilización Foliar	0.0081 ± 0.0016	0.0169 ± 0.0038
T3=Fertilización Sólida	0.0081 ± 0.0028	0.0112 ± 0.0031
T4=Fertilización Orgánica	0.0063 ± 0.0023	0.0091 ± 0.0031
T5=Fertilización Líquida	0.0035 ± 0.0055	0.0123 ± 0.0036

En el Cuadro 8 se observa que la altura de planta varió en un intervalo de ocho centímetros y en particular se resalta que la mayor altura se presentó en las plantas del testigo y de la materia orgánica. Por lo que se puede decir que a menor disponibilidad y suministro de nutrimentos la planta de Guácima tendió a crecer más en altura. No obstante, no hubo diferencias estadísticas significativas. En el Cuadro 9 se indica el crecimiento en diámetro basal, en donde las diferencias de diámetro entre los tipos de fertilización fue de 0.3 cm. En términos generales, se puede decir que la altura de planta fue mayormente influenciada por

la fertilización empleada con relación al diámetro basal. Aunque lo deseable es de que la respuesta debiera ser al contrario.

Cuadro 8. Comparación de medias para altura de la planta de Guácima.

Fertilizantes	Medias (cm)
T1=Testigo	83.840 ^A
T2=Fertilización Foliar	82.220 ^A
T3=Fertilización Sólida	80.320 ^A
T4=Fertilización Orgánica	88.120 ^A
T5=Fertilización Líquida al suelo	82.620 ^A

A = estadísticamente no significativo

Cuadro 9. Comparación de medias del diámetro basal de la planta de guácima.

Fertilizantes	Medias (cm)
T1=Testigo	1.4480 ^A
T2=Fertilización Foliar	1.5680 ^A
T3=Fertilización Sólida	1.5500 ^A
T4=Fertilización Orgánica	1.5420 ^A
T5=Fertilización Líquida al suelo	1.6644 ^A

A = estadísticamente no significativo

El Cuadro 10 muestra los modelos lineales que se ajustaron a los resultados obtenidos de biomasa verde y biomasa seca de la Guácima durante el período de 105 días de crecimiento. La diferencia entre los modelos lineales se puede hacer

comparando el coeficiente de DDM que es la pendiente de la recta. Por lo que las pendientes más altas nos indicaran que fertilización causó mayor efecto y eficiencia en la planta como productora de biomasa fresca o seca.

Cuadro 10. Ecuaciones de regresión lineal para el rendimiento de biomasa verde y seca de Guácima en el experimento I.

Tipo de fertilización	Biomasa fresca	Biomasa seca
T1=Testigo	$Y= 3.60+0.021ddm$	$Y= 2.30+0.027ddm$
T2=Fertilización Foliar	$Y= 3.63+0.022ddm$	$Y= 3.42+0.024ddm$
T3=Fertilización Sólida	$Y= 3.42+0.024ddm$	$Y= 2.10+0.029ddm$
T4=Fertilización Orgánica	$Y= 3.89+0.019ddm$	$Y= 2.53+0.025ddm$
T5=Fertilización Líquida al suelo	$Y= 3.80+0.018ddm$	$Y= 2.21+0.032ddm$

En el Cuadro 11 se tiene la cantidad o extracción de nitrógeno total, en el que se observa que la menor cantidad se tuvo en el testigo seguido del foliar. Ya que no se aplicó nitrógeno en el testigo se esperaba que fuera el que menor extracción tuviera, lo que así sucedió. Es necesario enfatizar que este resultado es relativamente alto; si consideramos que el contenido de materia orgánica en el suelo es alto, entonces se puede inferir que la tasa de mineralización de ésta fue muy buena y que además este nitrógeno disponible, la planta lo absorbió con una alta eficiencia. La fertilización foliar normalmente se utiliza en forma complementaria a la fertilización edáfica y por lo mismo la dosis que se aplica es baja. Por lo que se esperaba que fuera más alta que el testigo, lo que sucedió y el valor fue ligeramente mayor. En los demás tratamientos las extracciones fueron

mayores, siendo en el sólido el de mayor concentración. Aquí, es posible inferir que la tasa de producción de biomasa seca no fue tan alta en el orgánico comparada con el fertilizante líquido y sólido, debido a que el aporte de N, P y K en el orgánico no estuvo balanceado específicamente para Guácima y no estuvieron acorde a los requerimientos de la planta, así la producción de materia seca decreció y se dio un aumento de la concentración de N. Hubo un efecto de concentración y de dilución entre los tratamientos líquido y sólido. Es decir, que hubo una producción alta de materia seca, y aunque aumento la cantidad de nitrógeno la concentración disminuyó.

Cuadro 11. Extracción de Nitrógeno en Guácima. Experimento I

Fertilizante	%N	Extracción N(g)
T1=Testigo	3.71	2.57
T2=Fertilización Foliar	3.41	2.48
T3=Fertilización Sólida	2.72	17.02
T4=Fertilización Orgánica	2.61	16.31
T5=Fertilización Líquida al suelo	2.67	16.67

5.2 Experimento II: Guácima en asociación con Leucaena

5.2.1 Guácima

En el Cuadro 12 se observa que el peso fresco y seco de la guácima en el testigo fue menor a los obtenidos en los demás tratamientos de fertilización. Es decir que cualquier tipo de fertilización mejoró los rendimientos de esta especie. Se observa que los tipos de fertilización foliar, sólido y líquido aumentaron en ese orden su rendimiento, lo cual se puede correlacionar con el hecho de que en esa misma disposición se tuvo la disponibilidad de nutrimentos a la planta. En la fertilización foliar el acceso nutrimental fue directo a las hojas y la absorción de los nutrimentos se dio tan pronto se aplicó el fertilizante, no obstante la eficiencia de la fertilización normalmente es baja, y la absorción de los nutrimentos de la fórmula balanceada que se aplicó, se tradujo en una mejora del rendimiento. Incluso fue notorio que el incremento en peso seco de la biomasa con el fertilizante orgánico fue menor que en la fertilización foliar. Con relación al testigo, el incremento en el rendimiento de la biomasa en los árboles que fueron fertilizados con abono orgánico, fue de 152%, en el foliar de 194.7%, en el sólido del 218% y en el líquido de 262%. Los costos del fertilizante y de su aplicación fueron menores en el fertilizante foliar, por lo que si se considera el beneficio a corto plazo y el productor no dispone de recursos financieros suficientes, la fertilización foliar es la mejor opción. Es obvio que si el factor económico no es limitante, entonces es altamente rentable aplicar

el tipo de fertilización líquida. A largo plazo es posible que el abono orgánico mejore el rendimiento y este tipo de fertilización es deseable por los beneficios que la adición de materia orgánica ocasiona al suelo. Durante su mineralización completa se da la liberación de nutrientes que componen el abono, se incrementa en cierta medida el contenido orgánico coloidal del suelo y aumenta la capacidad de intercambio catiónico, además de la mejora de la textura del suelo y aumento de la retención de humedad.

Cuadro 12. Diferencias entre pesos frescos y pesos secos de Guácima y Leucaena

Tipo de Fertilización	Especie	PF(g)	PS(g)	PS%	PA _{agu} a	H ₂ O %
T1=Testigo	Guácima	363.5	112.1	30.9	251.3	69.1
T2=Fertilización Foliar	Guácima	655.3	218.3	33.3	436.9	66.7
T3=Fertilización Sólida	Guácima	831.8	244.5	29.4	587.3	70.6
T4=Fertilización Orgánica	Guácima	539.8	170.5	31.4	369.3	68.4
T5=Fertilización Líquida	Guácima	1057.6	294.0	28	763.6	72.0
T1=Testigo	Leucaena	434.0	52.8	12.2	381.1	87.8
T2=Fertilización Foliar	Leucaena	190.0	66.0	34.8	124.0	65.2
T3=Fertilización Sólida	Leucaena	187.6	72.8	38.9	114.8	61.1
T4=Fertilización Orgánica	Leucaena	205.6	78.3	38.1	127.3	61.9
T5=Fertilización Líquida	Leucaena	253.5	97.1	38.4	156.3	61.6

PF= peso fresco, PS= peso seco, PA= peso del agua

De igual forma que en el experimento uno, en Guácima, el fertilizante inorgánico produjo un rendimiento de biomasa menor al de los árboles que recibieron

fertilización líquida. La aplicación del fertilizante líquido se hizo alrededor de la planta en el área de goteo, al igual que el sólido; empero el líquido se infiltró al suelo y el acceso nutrimental a las raíces fue en un tiempo corto. En el caso del inorgánico-sólido, al momento que se depositó en banda en el suelo, se cubrió con una capa de suelo de dos a cinco centímetros. Esta capa de suelo al removerse quedó expuesta al aire, al sol y la humedad disponible se evaporó; la humedad disponible en el suelo y que pudo tener contacto con el fertilizante, quizá fue suficiente para empezar a disolver el fertilizante. Empero, no lo suficiente para diluirse y así no disminuyó el potencial osmótico en la solución del suelo, lo cual ocasionó alcalinidad en la zona radicular del árbol. Si las raíces estuvieron en contacto con la banda de fertilización, entonces le ocasionó daños someros por alcalinidad y sequía. Posteriormente, las lluvias que se presentaron al tercer y cuarto día de las aplicaciones el fertilizante se disolvió casi en su totalidad y se percoló en el suelo. El proceso de esta situación fue similar al fertilizante líquido. La composición de los macronutrientes en ambos fertilizantes fue igual; no obstante, el fertilizante líquido contenía los microelementos (B, Fe, Zn, Cu, Mn y Mo) en cantidades y balance adecuado a la planta. Por lo que estas dos situaciones contribuyeron significativamente a proveer de una cantidad de iones-nutrientes disponibles en la rizósfera de la planta, así la planta los pudo absorber en altas cantidades. Proceso que se corroboró con el incremento significativo en rendimiento de la biomasa seca. Es claro que los otros factores climáticos, edáficos y biológicos del ambiente del cultivo estuvieron presentes y fueron favorables al desarrollo del cultivo.

La fertilización sólida al suelo también presentó una buena respuesta en la producción de biomasa aérea tanto en Guácima como en Leucaena (Cuadro 7). Por su composición y forma de aplicación la mezcla sólida suministró de forma directa a las plantas los macronutrientes requeridos, dependiendo solo de la oportuna disponibilidad de humedad para disolver los minerales para la absorción por las plantas.

La fertilización foliar estimuló la producción de materia seca por la aplicación directa del fertilizante a las hojas, lo cual hace que los nutrientes lleguen rápidamente a los cloroplastos para hacer más eficiente el proceso de fotosíntesis y la producción de materia seca.

Teniendo en cuenta los valores del Cuadro 12 se observa que hubo una correlación positiva en el contenido de agua. Es decir a mayor producción de materia seca tuvo mayor contenido de agua. Es posible inferir que a mayor disponibilidad nutrimental en el suelo, la planta absorbió y demandó una cantidad de agua mayor para realizar su metabolismo, que finalmente se observó como un incremento de la materia seca. Esto se presentó con una variación de 1-2% del contenido de agua.

En el caso del tratamiento orgánico no se dio la respuesta de la misma forma, se puede atribuir esto a que el proceso de degradación influyó sustantivamente al grado tal que la fertilización foliar lo superó significativamente en producción. Es posible que para observar los beneficios de la aplicación de materia orgánica, ésta

debiera hacerse más allá del área de goteo de la planta. Lo cual disminuirá los posibles efectos de competencia por la humedad del suelo y del nitrógeno (esenciales en la mineralización) al menos en un período corto como en el de este experimento.

5.2.2 Leucaena

En el Cuadro 12 se observa como el testigo fue el que mostró mayor peso de biomasa fresca, pero fue el menor en cuanto a peso de biomasa seca, esto nos muestra el alto contenido de agua presente en las plantas, y el nivel nutrimental bajo del suelo.

En contraste, el fertilizante líquido fue el mejor a la hora de obtener peso seco y el segundo en peso fresco, el porcentaje de agua fue muy parecido entre este y los otros tipos de fertilizantes, solo siendo superado por la fertilización foliar.

El fertilizante orgánico presentó el tercer mejor peso de materia fresca y segundo en materia seca. Es notorio que la partición de biomasa seca en los diferentes tratamientos se incrementó y el contenido de agua disminuyó. Este contenido incluso fue menor que en Guácima.

El fertilizante sólido fue el menor en peso fresco pero el tercero en peso seco, como se puede notar en el Cuadro 12, pero si se tiene en cuenta los porcentajes de peso seco y de agua en los diferentes fertilizantes se nota que la diferencia es poca.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede inferir que el fertilizante líquido fue el que presentó mejores resultados en relación a los dos pesos de biomasa, aunque la diferencia con el foliar, orgánico y sólido no es demasiada.

Es posible inferir que la fertilización, cualquiera, favoreció la producción de materia seca en forma sustantiva y decreció el consumo de agua, por lo que se puede inferir que se aumentó la eficiencia de uso de agua por la planta. Así, la fertilización decreció la demanda de agua en *Leucaena*, lo que es un efecto importante en la estación seca.

En el Cuadro 13 se observa que la planta produjo mejor con la fertilización que cuando solo se produce sin aplicar ningún abono. Es decir, el testigo produjo la menor cantidad, lo cual claramente se puede atribuir a la falta de nutrientes en el suelo. De igual manera se observa que la calidad del forraje fue menor en el testigo, ya que su contenido de nitrógeno total y proteína bruta fue igualmente menor. Es posible inferir que en esta zona para incrementar la producción de forraje con guácima se deben aplicar fertilizantes. Dentro de los tratamientos donde se aplicó fertilizante se observa que la aplicación de nutrientes indujo a incrementar la producción de biomasa, es notorio que cuando se aplicó abono orgánico el incremento fue de 52% más con relación al testigo. Este fertilizante tiene nutrientes que no son inmediatamente disponibles al cultivo, ya que, una vez aplicada la materia orgánica tiene que darse el proceso de mineralización, el cual depende de diversos factores como humedad, temperatura, microorganismos, y otros. Por lo que su influencia en la planta no es inmediata y es posible que las

condiciones de degradación de la materia orgánica puedan presentarse en un período breve y la planta no los pueda absorber en su totalidad. Los nutrientes liberados pueden ser absorbidos por la Guácima y otras plantas que le rodean (pasto estrella y otras malezas) es decir, el efecto de competencia por otras plantas pudo ser alto. Esto dio como resultado menor eficiencia del fertilizante.

Cuadro 13. Extracción de nitrógeno en Guácima asociada. Experimento II

Fertilizantes	% N	peso seco g	Extracción N(g)	%PSRT	%PB
T1=Testigo	2.16	112.1	2.425		13.52
T2=Fertilización Foliar	2.34	218.3	5.104	194.7	14.61
T3=Fertilización Sólida	2.32	244.5	5.674	218.1	14.50
T4=Fertilización Orgánica	2.61	170.5	4.444	152.0	16.29
T5=Fertilización Líquida	2.56	294	7.512	262.2	15.97

* PSRT = % de peso seco relativo al testigo

En el Cuadro 13 se nota como el porcentaje de nitrógeno (N) y proteína bruta (PB) fue mayor en el fertilizante orgánico, pero presentó menor cantidad de materia seca y extracción de nitrógeno con referencia al fertilizante líquido que presentó el mayor contenido de materia seca y extracción de nitrógeno, lo que demuestra un buen aprovechamiento de nutrientes de las plantas al ser fertilizadas de esta forma.

Los resultados del testigo fueron los menores en cada una de las variables, mostrando que la calidad de la planta fue menor, lo que se tradujo en un forraje con las mismas características.

Se observa también en el Cuadro 13 que existió una diferencia en la producción de biomasa producida en Guácima comparada con Leucaena. Es decir que hubo una diferencia entre especies.

En el Cuadro 14, se observa que los rendimientos en todos los tratamientos con fertilización superaron al testigo, si bien este resultado no fue tan notorio como en Guácima. No obstante, el intervalo de incremento relativo al testigo varió de 125 a 183%. Lo cual es importante.

El fertilizante orgánico presentó mayor porcentaje de Nitrógeno y Proteína total y el segundo en peso seco y extracción de N; pero nuevamente se noto que el fertilizante líquido produjo mayor contenido de MS y mayor extracción de N, lo que demostró mayor disponibilidad de N para las plantas que se tradujo en un mejor desarrollo.

El testigo presentó el menor peso seco al igual que la tasa de extracción de N, pero en cuanto a PB quedó en tercer lugar.

Cuadro 14. Extracción de Nitrógeno en Leucaena asociada con Guácima. Experimento II

Tratamiento	% N	Peso seco g	Extracción de N	PSRT	% PB
T1=Testigo	4.11	52.8	2.168		25.66
T2=Fertilización Foliar	4.02	66.0	2.653	125	25.12
T3=Fertilización Sólida	3.41	72.8	2.482	137.8	21.31
T4=Fertilización Orgánica	4.26	78.3	3.332	148	26.60
T5=Fertilización Líquida	4.13	97.1	4.009	183	25.81

* PSRT = % peso seco relativo al testigo

Se resalta el hecho que Leucaena presentó aproximadamente 10% más en su contenido de proteína bruta que la Guácima. Se debe tomar en cuenta que Leucaena es una planta leguminosa y se esperaría que tuviera un contenido proteínico mayor. De igual forma se observa que la extracción de nitrógeno fue conspicuamente menor en Leucaena que en Guácima. En forma preliminar se puede indicar que Leucaena tiene una proporción de conversión del nitrógeno absorbido a proteína mayor que en Guácima.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores tanto en la Guácima como en Leucaena se observa que la aplicación de fertilizantes fue importante para el desarrollo de las plantas y se obtuvieron mejores rendimientos de materia seca.

Cuadro 15. Tasa de crecimiento relativa instantánea para la altura de la planta y diámetro basal de *Leucaena*. Experimento II

Tipo de fertilización	Altura plantas	Diámetro plantas
T1=Testigo	0.0058 ± 0.0040	0.0024 ± 0.0033
T2=Fertilización Foliar	0.0064 ± 0.0025	0.0026 ± 0.0039
T3=Fertilización Sólida	0.0052 ± 0.0030	0.0019 ± 0.0025
T4=Fertilización Orgánica	0.0049 ± 0.0025	0.0040 ± 0.0027
T5=Fertilización Líquida	0.0083 ± 0.0039	0.0045 ± 0.0032

$\alpha=0.05$, t de estudet.

En este cuadro el fertilizante líquido mostró mayor TCRi en altura de la planta y diámetro basal, por lo que es posible inferir que la fertilización indujo a producir plantas más frondosas con tallos más gruesos.

En el Cuadro 16 se observa que el fertilizante líquido presentó el mayor promedio de rendimiento de biomasa seca; esta información se corrobora con la obtenida anteriormente donde se observa que este tipo de fertilización dió mejores resultados en comparación con los otros tratamientos.

Es conveniente hacer notar que estas medias provienen del análisis de varianza que se realizó en el cuarto muestreo. Por lo que la cantidad de datos que intervienen en cada media fueron solo del 25% de los que se utilizaron con los análisis estadísticos de la tasa de crecimiento relativa instantánea. Así, las diferencias posibles de detectar en el análisis estadístico del experimento factorial

en bloques completamente al azar (Cuadros 18 y 19) tendrían que ser relativamente grandes. En estos cuadros también se puede ver que solo hubo diferencia estadística significativa para el factor especie. Es decir, que las diferencias de producción de biomasa entre *Leucaena* y *Guácima* se atribuyen a las diferencias entre especies.

Cuadro 16. Comparación de medias peso seco *Guácima* asociada con *Leucaena*. Experimento II

Fertilizantes	Medias
T1=Testigo	398.8 ^A
T2=Fertilización Foliar	422.7 ^A
T3=Fertilización Sólida	509.8 ^A
T4=Fertilización Orgánica	372.8 ^A
T5=Fertilización Líquida	655.6 ^A

Cuadro 17. Comparación de medias peso seco *Leucaena*. Experimento II

Fertilizantes	Medias
T1=Testigo	82.50 ^A
T2=Fertilización Foliar	142.17 ^A
T3=Fertilización Sólida	158.67 ^A
T4=Fertilización Orgánica	124.42 ^A
T5=Fertilización Líquida	195.58 ^A

Cuadro 18. Análisis de varianza del experimento factorial en bloques completamente al azar, para peso fresco. Experimento II

Fuente de variación	Cuadrado medio	Valor/F
Bloque	606274.680	1.92 ^{NS}
Fertilizante	158333.267	0.50 ^{NS}
Especie	2844468.267	9.00**
Fertilización*especie	334988.517	1.06 ^{NS}

Cuadro 19. Análisis de varianza para peso seco interacción de las dos especies

Fuente de variación	Cuadrado medio	Valor de F
Bloque	75160.2267	3.76**
Fertilizante	20968.5417	1.05 ^{NS}
Especie	271219.2667	13.55**
Fertilización*especie	9770.2250	0.49 ^{NS}

6. CONCLUSIONES

Los resultados indicaron que la la producción de Guácima y Leucaena fueron afectados positivamente con los diferentes tipos de fertilización. Las conclusiones a las que se llegaron son las siguientes:

- * La fertilización en cualquiera de sus formas estudiadas causó un incremento en la producción de biomasa en Gúacima y Leucaena.
- * La fertilización líquida es la que originó la máxima eficiencia, mayor tasa de crecimiento relativa instantánea, de producción de biomasa en Guácima y Leucaena.
- * La fertilización líquida fue la dosis de fertilización completa óptima balanceada para Guácima y Leucaena y ésta produjo las mejores TCRi.
- * La capacidad productiva de biomasa fue diferente entre especies, donde la Guácima presentó mayor productividad.
- * El acceso y disponibilidad de los nutrimentos en los tratamientos estudiados afectó la TCRi de Guácima y Leucaena.
- * El contenido de nitrógeno total en Guácima se incrementó en los cuatro tipos de fertilización, al igual que el contenido de proteína bruta. En Leucaena solo se mejoró el contenido de N en los tratamientos líquido y orgánico con relación al testigo.
- * El contenido de N fue mayor en Leucaena (4%) que en Guácima (2.4%)

7. RECOMENDACIONES

Aunque el fertilizante líquido fue el que dio mayor rendimiento, el términos generales, se recomienda a los productores el uso de fertilizantes balanceados en N,P,K acorde a la especie que se esté utilizando, por lo tanto se recomienda una previa asesoría técnica para minimizar riesgos.

8. LITERATURA CITADA

Araya, J. B.; Arias, R.; Ruiz, A. (1994). Identificación y caracterización de árboles y arbustos con potencial forrajero en Puriscal, Costa Rica. *Árboles y Arbustos Forrajeros en América Central*, 236, 31.

Carranza, M. M.; Sánchez, V. R.; Pineda, L. M.; Cuevas, G. R. 2003. Calidad y potencial forrajero de especies del bosque tropical caducifolio de la Sierra de Manantlán, México. *Agrociencia* (2)37:203-210.

FAO. 2002. *Los fertilizantes y su uso*. Roma. 77 p.

Jiménez, F. G.; López, C. M.; Nahed-Toral, J.; Ochoa, G. S.; Jong de B. 2008. *Árboles y arbustos forrajeros de la región norte-tzotzil de Chiapas, México*. Artículos científicos digital (www.scielo.org.mx). México.

García, de M. E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. (Para adaptarlos a las condiciones climáticas de la república mexicana). Tercera Edición. México, D. F. UNAM, Instituto de Geografía. p 252.

Hunt, R. 1990. Basic growth análisis. Academic press, London. Consultado en [www.soccolhort.com/revista/pdf/magazin/vol 3](http://www.soccolhort.com/revista/pdf/magazin/vol3).

CATIE.1991. Leucaena: *Leucaena leucocephala* (Lam. De Wit.): especie de árbol de uso múltiple en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Serie Técnica. Informe Técnico/CATIE; No. 166). Consultado en la página Web:

Castillo, M. R. 2008. Potencialidades de los sistemas con árboles para la producción animal en el trópico. Consultado en la página Web: <http://foro.fuentedepermacultura.org/index.php/topic,325.msg861.html#msg861>

Del Pozo, P. P.; Álvarez, A. 2014. Estimación del área foliar de la *Leucaena leucocephala* de la masa seca de sus hojas. Consultado en la página www.fao.org consultado en marzo 2014.

Giraldo, L. A. (1998). Potencial de la arbórea guácimo (*Guazuma ulmifolia*) como componente forrajero en sistemas silvopastoriles. In Conferencia electrónica de la FAO sobre Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica.

- Jiménez, F. G. 2000. Árboles y arbustos con potencial forrajero en el norte de Chiapas, México, Tesis doctoral. Mérida (Yucatán) México: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Jiménez, F. G.; López, C. M.; Nahed, T. J., Ochoa, G. S.; De Jong, B. (2008). Árboles y arbustos forrajeros de la región norte-tzotzil de Chiapas, México. Veterinaria México, 39: 199-213.
- Krishnamurthy, L. (2012). Introducción a la agroforestería para el desarrollo rural. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 18:
- Margalef, R. 1985. Ecosystems as physical systems. 55-58 p. consultado en www.revistaecosistemas.net febrero 2014.
- Pezo, D.; Kass, M.; Benavides, J.; Romero, F.; Chaves, C. 1990. Potential of legume tree fodders as animal feed in Central America. In: Shrubs and tree fodders for farm animals. (1989, Denpasar, Indonesia). Proceeding of a Workshop. Ed. por C. Devendra. Ottawa, Canadá. IDRC. p 163-175.
- Pinto, R.; Ramírez, L.; Kú, V. J.; Ortega, L. 2002. Especies arbóreas y herbáceas forrajeras del sureste de México. Pastos y Forrajes 25: 171-180.
- SAS. 1999. SAS User's Guide Statistics, version 8.1. SAS Inst. Inc., Cary, NC.

Shelton, H. M.; Lowry, J. B.; Gutteridge, K.C.; Bray, R.A.; Wilding, J. H. 1991. Sustaining productive pastures in the tropics 7. Tree and shrub legumes in improved pastures. *Tropical grasslands* 25:119-128.

Silvoenergía (CATIE). 1986. Silvicultura de especies promisorias para la producción de leña en América Central. Serie Técnica. Informe Técnico No 86. Turrialba. Costa Rica.

Sosa, R. E.; Pérez R. D.; Ortega, R. L.; Zapata B. G. (2004). Evaluación del potencial forrajero de árboles y arbustos tropicales para la alimentación de ovinos. *Técnica Pecuaria en México*. 42: 129-144.

Wood, P. J.; Burley, J. (1995). Un árbol para todo propósito: Introducción y evaluación de árboles de usos múltiples para agroforestería. IICA/CATIE.