

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA AGRICOLA**

**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE MORINGA (*Moringa oleífera Lam*), COMO MATERIA PRIMA PARA LA OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE Y EN LA EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES, UTILIZANDO TRES DENSIDADES DE SIEMBRA.**

**POR:**

**YAIFREDT J. ARTOLA B.**

**1-719-2211**

**DAVID, CHIRIQUI REPUBLICA DE PANAMÁ**

**2011**

**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE MORINGA (*Moringa oleífera Lam*), COMO MATERIA PRIMA PARA LA OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE Y EN LA EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES, UTILIZANDO TRES DENSIDADES DE SIEMBRA.**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN MANEJO DE CUENCAS Y AMBIENTE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL, DEBE SER OBTENIDO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**APROBADO:**

**ING. TIRSO SOLÍS (DIRECTOR) \_\_\_\_\_**

**ING. FÉLIX A. GUERRA (ASESOR) \_\_\_\_\_**

**ING. JOSÉ R. CASTILLO (ASESOR) \_\_\_\_\_**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar le doy la gloria y la honra a Jesucristo, Rey de reyes quien hasta aquí me ha sustentado a través de su amor y su gracia desmedida e infinita, permitiéndome alcanzar esta meta, de preparación, en el ámbito profesional.

Deseo expresar mi agradecimiento a los ingenieros Tirso Solís, Félix Guerra, y Jose Ricardo Castillo, miembros del comité evaluador de mi trabajo de grado. De igual forma a la Licenciada Liliana Escalante, y a los demás colaboradores de la Facultad de Ciencias Agropecuaria que me apoyaron en la realización de este informe final.

Agradezco a mi madre, por sus enseñanzas, palabras de ánimo y su apoyo incondicional con el que siempre he contado. A mi abuela que más que abuela es mi mamá, a mis hermanos, al profesor Enrique Moreno, a mis amigos María Teresa, Henning, Joshua, Idalcy, Jorge, Miguel, Mileika, Joel, Pedro, Feliciano; también a mis amigos y hermanos de la Iglesia Cuadrangular del Corregimiento de Chiriquí, a la Comunidad de Estudiantes Cristianos y todos los profesores que contribuyeron a mi formación académica.

También agradezco a la Alianza de Energía y Ambiente con Centroamérica (AEA/SICA - gobiernos de Finlandia y Austria) por el apoyo económico brindado para la realización de este ensayo.

## DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de graduación desde lo más profundo de mi corazón al Señor Jesucristo quien me ha fortalecido, proporcionado perseverancia y sabiduría de lo alto en este largo camino universitario.

A mi Mamá Olivia Baker quien con mucho esfuerzo me ha dado su total apoyo y que con amor, y amistad me ha enseñado a ser constante. A mi abuelita Fermina Curabo a quien llamo mamá y no abuela. A mis hermanitos Leidy, Cristian, Dayana, a quienes amo y me inspiran a ser mejor.

A mis amigos: María Teresa, Enrique, Henning, Joshua, Idalcy que más que amigos son mis hermanos, y que me han acompañado en momentos de tribulación y en momentos de alegría.

Determinación de la capacidad potencial de producción de biomasa de moringa (*moringa oleífera Lam*), como materia prima para la obtención de biocombustible y en la extracción de nutrientes, utilizando tres densidades de siembra.

**PALABRAS CLAVES:** *Moringa oleífera Lam*, rendimiento, materia seca, extracción de nutrientes, Biocombustible.

## RESUMEN

Esta investigación se llevó a cabo en la parcela 11b del Centro de Enseñanza e Investigación Agropecuaria de Chiriquí (CEIACHI), en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, desde octubre 2010 a julio del 2011.

El objetivo de este estudio fue determinar la capacidad potencial de producción de biomasa de la especie de *Moringa oleífera Lam* como productora de materia prima para la generación de biocombustibles y cuantificar la extracción de nutrientes del suelo.

El diseño experimental utilizado fue el de bloques completamente al azar (DBCA) con cuatro repeticiones y tres tratamientos que representaban las densidades de siembra utilizadas: 200 000, 400 000 y 600 000 plantas/ha.

La siembra se realizó manualmente utilizando el método a chorrillo, y en cuanto a la fertilización, se aplicaron dosis relativamente altas de las diferentes nutrientes (N, P, K, Mg y S) con el propósito de que la disponibilidad de estos elementos no limitara la producción de biomasa en cada uno de los tratamientos evaluados.

La primera cosecha de biomasa se realizó a los 60 días después de la siembra, la segunda cosecha se efectuó 60 días después de la primera cosecha y la tercera cosecha se efectuó 98 días después de la segunda cosecha de biomasa.

Lo datos de rendimiento de materia seca fueron sometidos a un análisis estadístico, el cual indicó que el rendimiento de materia seca tendió a incrementarse al incrementar la densidad de siembra. La mayor producción de biomasa (materia seca) se obtuvo con la densidad de siembra de 600 000 plantas/ha (4282 kg/ha de MS). En general la excesiva humedad al principio y la falta de una cantidad adecuada de humedad en plena estación seca limitó gradualmente la producción de biomasa en este ensayo.

La extracción de macronutrientes (N, P, K, Mg, Ca) y micronutrientes (Mn, Fe, Zn, Cu) tendió a aumentar al incrementarse la densidad de siembra por hectárea. El calcio (105.7 kg de Ca/ha), nitrógeno (92.4 kg de N/ha) y potasio (52.7 kg de K/ha) fueron los macronutrientes extraídos en mayor cantidades, mientras que el hierro (1328 g de Fe/ha), y el manganeso (318.1 g de Mn/ha) fueron los micronutrientes extraídos en mayor cantidades, en la densidad de 600 000 plantas por hectárea.

Determination of the production potential capacity of moringa biomass (*moringa oleífera Lam*), as raw material for the obtaining of biofuel and in the extraction of nutrients using three sowing densities.

**KEY WORDS:** *Moringa oleífera Lam*, yield, dry material, nutrient extraction, biofuel

### **ABSTRACT**

This research took place in the parcel 11b the Center for Teaching and Agricultural Research of Chiriqui (CEIACHI), in the College of Agricultural Sciences, from October 2010 to July 2011.

The object of this study was to determine the production potential capacity of biomass of the *moringa oleífera Lam* as a producer of raw material for the generation of biofuels and evaluate the extraction of soil nutrients.

The used experimental design was that of completely random blocks (DBCA) with four repetitions and three treatments that represented the density of planting used: 200,000 plants/hectare, 400,00 plants/hectare and 600,000 plants/hectare.

The planting was done manually using a trickle method and the weed control was also done manually. In regards to the fertilization, relatively high doses of the different sources of macro and micronutrients (N, P, K, Mg y S) were applied with the purpose that the availability of these elements would not limit the production of biomass in each one of the evaluated treatments.

The first harvest of biomass was done 60 days after planting, the second harvest was at an interval of 60 days after the first harvest and the third was at an interval of 98 days after the second harvest of biomass.

For the effect of variance analysis the yield of dry material data was used which indicated the significantly high difference between treatments and significant variability between the blocks. The Duncan multiple range test was employed to compare the media of dry material yield showing that the yield of dry material tended to increase in a vertical way in the highest sowing density. This highest production of biomass (dry material) was obtained in the sowing density of 600,000 plants/hectare (4282 kg/hectare of dry material). It in general the excessive dampness initially and the lack of a suitable quantity of dampness on full dry station they limited gradually the production of biomass in this test.

The extraction of macronutrients (N, P, K, Mg, Ca) and the micronutrients (Mn, Fe, Zn, Cu) tended to increase as the number of plants/hectare increased. The calcium (105.7 kg of Ca/ha), nitrogen (92.4 kg of N/ha) and potassium (52.7 kg of K/ha) was the macronutrients extracted in major quantities, whereas the iron (1328 g of Fe/ha), and the manganese (318.1 g of Mn/ha) they were the micronutrients extracted in major quantities, in the density of 600 000 plants for hectare.

## INDICE DE CONTENIDO

Contenido	Página
AGREDECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	ix
ÍNDICE DE CUADROS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema a investigar.....	1
1.2 Antecedentes .....	3
1.3 Justificación.....	5
1.4 Objetivos .....	8
1.4.1 General.....	8
1.4.2 Específicos .....	8
1.5 Hipótesis.....	9
1.6 Alcances y limitaciones .....	9

1.6.1 Alcances.....	9
1.6.2 Limitaciones .....	10
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>11</b>
2.1 Aspectos generales.....	11
2.1.1 Descripción botánica.....	11
2.1.2 Adaptación ambiental.....	12
2.1.2.1 Temperatura.....	12
2.1.2.2 Humedad.....	12
2.1.2.3 Suelos .....	13
2.2 Densidad de siembra.....	13
2.3 Control de malezas .....	15
2.4 Plagas y Enfermedades .....	15
2.5 Fertilización .....	16
2.5.1 Fertilización orgánica.....	16
2.5.2 Fertilización química.....	17
2.6 Extracción de nutrientes.....	17
2.7 Usos de la Moringa .....	19
2.7.1 Producción de bioenergía.....	19
2.7.2 Cercas vivas.....	20
2.7.3 Alimento para humanos.....	20
2.7.4 Forraje para ganado .....	21

2.7.5 Aceite .....	22
2.7.6 Clarificador de agua .....	23
2.7.7 Medicinal .....	23
2.7.8 Fitohormona .....	24
2.7.9 Proteína.....	26
2.7.10 Otros Usos .....	26
<b>3.0 MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
3.1 Ubicación del ensayo .....	28
3.2 Muestreo y análisis de suelo .....	29
3.3 Preparación de la parcela.....	32
3.4 Siembra y tamaño de la unidad experimental .....	32
3.5 Diseño experimental.....	34
3.6 Fertilización .....	35
3.7 Control de malezas y plagas .....	38
3.8 Riego .....	38
3.9 Cosecha .....	39
3.10 Análisis foliar .....	41
3.11 Parámetros evaluados.....	41
3.11.1 Producción de biomasa .....	41
3.11.2 Extracción de nutrientes .....	42
3.3.3 Supervivencia y mortalidad de plantas .....	42

<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	43
4.1 Producción de Biomasa.....	43
4.1.1 Primera cosecha.....	43
4.1.2 Segunda cosecha.....	46
4.1.3 Tercera cosecha.....	50
4.1.4 Resultados acumulados de las tres cosechas.....	53
4.2 Extracción de nutrientes.....	57
4.3 Mortalidad y Supervivencia de plantas.....	61
4.3.1 Tasa de mortalidad y supervivencia de plantas durante el ensayo .....	61
4.3.2 Plantas vivas posterior a las tres cosechas.....	64
<b>5.0 CONCLUSIONES</b> .....	66
<b>7.0 RECOMENDACIONES</b> .....	68
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	69
<b>8.0 ANEXOS</b> .....	73

## INDICE DE CUADROS

	<b>Pagina</b>
<b>CUADRO I.</b> Análisis de suelo de la parcela 11b.....	31
<b>CUADRO II.</b> Cantidad de elementos aplicados y fuentes utilizadas en la fertilización de moringa.....	37
<b>CUADRO III.</b> Rendimiento de materia seca por tratamiento y por bloque en la primera cosechas.....	43
<b>CUADRO IV.</b> Análisis de varianza de los datos de producción de materia seca en la primera cosecha.....	44
<b>CUADRO V.</b> Comparación de medias de rendimiento de materia seca (kg/ha) en la primera cosecha realizada utilizando la prueba de Duncan.....	45
<b>CUADRO VI.</b> Rendimiento de materia seca por tratamiento y por bloque en la segunda cosecha.....	46
<b>CUADRO VII.</b> Análisis de varianza de los datos de producción de materia seca en la segunda cosecha.....	47
<b>CUADRO VIII.</b> Comparación de medias de rendimiento de materia seca (kg/ha) en la segunda cosecha realizada utilizando la prueba de Duncan.....	49
<b>CUADRO IX.</b> Rendimiento de materia seca por tratamiento y por bloque en la tercera cosecha.....	50
<b>CUADRO X.</b> Análisis de varianza de los datos de producción de materia seca en la tercera cosecha.....	51

<b>CUADRO XI.</b> Rendimiento de materia seca por tratamiento y por bloque en las tres cosechas realizadas.....	53
<b>CUADRO XII.</b> Análisis de varianza de los datos de producción de materia seca de las tres cosechas (acumulado).....	54
<b>CUADRO XIII.</b> Comparación de medias de rendimiento de materia seca (kg/ha) en las tres cosechas realizadas utilizando la prueba de Duncan.....	55
<b>CUADRO XIV.</b> Extracción de macronutrientes y micronutrientes en la biomasa producida por la <i>Moringa oleífera Lam</i> en cada cosecha en las diferentes densidades de siembra utilizadas.....	57
<b>CUADRO XV.</b> Extracción total de macronutrientes y micronutrientes por tratamientos.....	58
<b>CUADRO XVI.</b> Tasa de mortalidad por tratamiento y por cosecha.....	61
<b>CUADRO XIV.</b> Media de plantas vivas por tratamiento y por bloque, y tasa de supervivencia y mortalidad posterior a las tres cosechas efectuadas.....	64

## INDICE DE GRÁFICOS

Página.

<b>GRAFICO I.</b> Producción de materia seca (MS) en la primera cosecha de <i>Moringa oleífera Lam.</i> utilizando tres densidades de siembra.....	45
<b>GRAFICO II.</b> Producción de materia seca (MS) en la segunda cosecha de <i>Moringa oleífera Lam.</i> utilizando tres densidades de siembra.....	49
<b>GRAFICO III.</b> Producción de materia seca (MS) en la tercera cosecha de <i>Moringa oleífera Lam.</i> utilizando tres densidades de siembra.....	52
<b>GRAFICO IV.</b> Producción de materia seca (MS) en las tres cosecha realizadas de <i>Moringa oleífera Lam.</i> utilizando tres densidades de siembra.....	56
<b>GRAFICO VI.</b> Tasa de mortalidad de plantas de moringa por tratamiento posterior a cada una de las cosecha efectuadas.....	62
<b>GRAFICO V.</b> Tasa de mortalidad y supervivencia de plantas durante el ensayo.....	63

## INDICE DE ANEXOS

### Pagina

#### CUADROS

**CUADRO I.** Rendimientos de materia verde (kg/tratamiento/parcela).....74

**CUADRO II.** Rendimiento de materia verde por tratamiento y bloque en la primera cosecha.....74

**CUADRO III.** Porcentaje de materia seca en las muestras de plantas por bloque y por tratamiento en la primera cosecha.....75

**CUADRO IV.** Rendimientos de materia verde (kg/tratamiento/parcela).....76

**CUADRO V.** Rendimiento de materia verde por tratamiento y bloque en la segunda cosecha..... 76

**CUADRO VI.** Porcentaje de materia seca en las muestras de plantas por bloque y por tratamiento en la segunda cosecha.....77

**CUADRO VII.** Rendimientos de materia verde (kg/tratamiento/parcela).....78

**CUADRO VIII.** Rendimiento de materia verde por tratamiento y bloque en la tercera cosecha.....78

**CUADRO IX.** Porcentaje de materia seca en las muestras de plantas por bloque y por tratamiento en la tercera cosecha.....79

**CUADRO X.** Rendimiento de materia verde por tratamiento y por bloque en las tres cosechas realizadas.....80

**CUADRO XI.** Plantas vivas registradas por hilera, por tratamiento, y por bloque posterior a la primera cosecha.....81

<b>CUADRO XII.</b> Promedio de plantas vivas por tratamiento, y bloque posterior a la primera cosecha.....	82
<b>CUADRO XIII.</b> Plantas vivas registradas por hilera, por tratamiento, y por bloque posterior a la segunda cosecha.....	83
<b>CUADRO XIV.</b> Promedio de plantas vivas por tratamiento, y bloque posterior a la segunda cosecha.....	84
<b>CUADRO XV.</b> Plantas vivas registradas por hilera, por tratamiento, y por bloque posterior a la tercera cosecha.....	85
<b>CUADRO XVI.</b> Promedio de plantas vivas por tratamiento, y bloque posterior a la tercera cosecha.....	86
<b>CUADRO XVII.</b> Registro diario de precipitación pluvial (mm) en la FCA - Chiriquí 2010 – 2011.....	87

## **GRAFICOS**

<b>GRÁFICO I.</b> Producción de materia verde en las tres cosecha realizadas de <i>Moringa oleífera Lam.</i> utilizando tres densidades de siembra.....	80
<b>GRÁFICO II.</b> Promedio de plantas vivas registras en cada tratamiento, posterior a la primera cosecha.....	82
<b>GRÁFICO III.</b> Promedio de plantas vivas registras en cada tratamiento, posterior a la segunda cosecha.....	84
<b>GRÁFICO IV.</b> Promedio de plantas vivas registras en cada tratamiento, posterior a la tercera cosecha.....	86

## FIGURAS

<b>FIGURA I.</b> Siembra a chorrillo de la parcela experimental.....	88
<b>FIGURA II.</b> Levantamiento de la muestra de suelo en la parcela experimental.....	88
<b>FIGURA III.</b> Vista de las hileras del tratamiento T4 (400 000 plantas/ha) en el bloque 1, a los 40 días después de la siembra.....	89
<b>FIGURA IV.</b> Aplicación de fertilizante al chorrillo en el tratamiento T2 (200 000 plantas/ha) del bloque 3.....	89
<b>FIGURA V.</b> Cisterna utilizado en el método de riego para el trasiego de agua.....	90
<b>FIGURA VI.</b> Vista de la parcela efectiva del tratamiento T4 (400 000 plantas/ha) en el bloque 2, recién cosechada.....	90
<b>FIGURA VII.</b> Tercera cosecha del tratamiento T2 (200 000 plantas/ha) ubicado en el bloque 4.....	91
<b>FIGURA VIII.</b> Pesaje de biomasa mediante una balanza calibrada en libras.....	91
<b>FIGURA IX.</b> Selección al azar de submuestra de materia verde.....	92
<b>FIGURA X.</b> Picado de muestra de biomasa seleccionada al azar.....	92
<b>FIGURA XI.</b> Selección de muestra de biomasa picada del tratamiento T6 (600 000 plantas/ha) en el bloque 2.....	93
<b>FIGURA XII.</b> Pesaje de muestra de biomasa del tratamiento T2 (200 000 plantas/ha) en el bloque 1, utilizando una balanza digital.....	93
<b>FIGURA XIII.</b> Secado de las muestras en un horno a 65 °C.....	94

<b>FIGURA XIV.</b> Pesaje de muestras para la preparación de los extractos.....	94
<b>FIGURA XV.</b> Horno, donde se incineraron las muestras de plantas en los crisoles previamente pesados.....	95
<b>FIGURA XVI.</b> Preparación de los extractos con HCl en la cámara de extracción de gases.....	95
<b>FIGURA XVII.</b> Preparación de los patrones de fósforo (P) foliar en volumétricos de 50 ml.....	96
<b>FIGURA XVIII.</b> Lectura de P en el Espectrofotómetro de color, visible a 470 nm.....	96
<b>FIGURA XIX.</b> Determinación de macronutrientes (K, Ca, Mg) y micronutrientes (Fe, Zn, Cu, Mn) en el Espectrofotómetro de absorción atómica.....	97
<b>FIGURA XX.</b> Digestión de la muestra para determinación de nitrógeno.....	97
<b>FIGURA XXI.</b> Preparación de la solución de ácido bórico para la determinación de N.....	98
<b>FIGURA XXII.</b> Destilación de Nitrógeno atreves de la unidad de destilación Kjeldahl.....	98
<b>FIGURA XXIII.</b> Titulación de la solución para la determinación del contenido de nitrógeno en muestras de plantas.....	99
<b>FIGURA XXIV.</b> Croquis de la parcela experimental y la distribución de los tratamientos.....	99
<b>FIGURA XXV.</b> Ubicación geográfica de la Parcela Experimental.....	100

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Planteamiento del problema a investigar**

El precio del petróleo a nivel mundial ha ido incrementando vertiginosamente desde 1973, siendo el más alto de los aumentos el experimentado en julio del 2008, cuando el precio del barril llegó a costar 147 dólares; situación que ha afectado negativamente a muchas industrias, como la de producción de energía eléctrica mediante el uso de plantas termoeléctricas y el transporte, ya que este último depende directamente de los derivados de petróleo como lo son la gasolina y el diesel para el trasiego de mercancía exportada e importada, siendo la consecuencia de esta crisis energética el aumento de los precios de los productos de primera necesidad e insumos para la producción de alimentos en el país.

Los aumentos de precios en los últimos años han estado influenciados por la guerra Irak-E.E.U.U, el conflicto Árabe-Palestino, el huracán Katrina que destruyó gran parte de la infraestructura petrolera en el golfo de México, el aumento de consumo de petróleo de la economía de la República Popular China, que continúa creciendo a una tasa anual superior al 9.5% del PIB y, también debido al temor relacionado con la disminución mundial de las reservas de petróleo y a la especulación con los precios que realizan las transnacionales que explotan este valioso recurso no renovable del planeta. Más recientemente los precios del petróleo han experimentado un alza debido a la inestabilidad política que se vive aun en algunos países de la zona petrolera en el Medio Oriente (Siria, Irak, Jordania) y en el norte de África (Egipto, Libia, Túnez).

En el año 2010, el mercado petrolero mostró una elevada estabilidad en sus precios, y éstos continúan manteniéndose en un nivel relativamente elevado. Lo anterior ha sido el reflejo de una fuerte recuperación económica global, sobre todo en regiones con una elevada intensidad en el uso de petróleo. Sin embargo, el escenario está cambiando pues el 24 de febrero de 2011, el barril Brent cerró a 111 dólares, precio que no se veía desde 2008, amenazando la frágil recuperación económica y contribuyendo a una nueva y fuerte alza del precio de los combustibles y alimentos en todo el mundo. Este último aumento se registró al mismo tiempo en que los movimientos sociales (insurrecciones) y los cambios políticos en el Medio Oriente y el norte de África empezaron a gestarse. Esta región es poseedora del 60% de las reservas mundiales de petróleo y, por ello, desde que se desató la crisis política, el precio del crudo ha ido incrementándose en los mercados del mundo.

La crisis energética que afecta la economía mundial ha tenido un lado positivo y es que ha contribuido al desarrollo de biocombustibles tales como el etanol, a partir de la caña de azúcar y el maíz; el biodiesel a partir de la soya, la palma aceitera, la grasa animal, entre otros. Otra de estas especies con un alto potencial de producción de biocombustible entre las que se destaca la producción de biogás y el etanol es la ***Moringa oleífera Lam***, la cual se adapta muy bien a nuestro medio debido a que es una especie originaria del trópico (Geilfus, 1990).

La producción de biomasa de *Moringa oleífera Lam*, podría ser una buena alternativa energética, ya que a través del uso de la biomasa de esta especie se pueden producir grandes cantidades de biogás y etanol y además, su producción podría contribuir enormemente al mejoramiento de los ingresos económicos de un gran número de familias en áreas rurales con suelos aptos para la siembra de esta especie.

## **1.2 Antecedentes**

El precio del petróleo siempre se ha caracterizado por su volatilidad. En la década de los 70's ocurrió la primera y segunda crisis del petróleo en los años 1973 y 1979 respectivamente. En la ya mencionada década el precio del combustible se elevó 18 veces, el precio del barril aumentó de B/ 2,20 en enero de 1970 a B/ 40,50 hacia finales de la década de los 70. Más tarde, con la desaceleración económica mundial, el precio del petróleo bajó a un promedio de B/ 21,00 el barril en diciembre de 1989. (Samudio y Moreno, 2010)

A inicios de los años 90, el precio del petróleo se elevó nuevamente a B/ 36,00 el barril debiéndose este aumento mayormente a la guerra del Golfo Pérsico, para luego mantenerse estable en un promedio de B/ 20,00 el barril entre los años 1992 – 1996, situándose un poco más tarde (1997-1998) en B/ 11,00 el barril como resultado de la crisis que afrontaban los países asiáticos.

Desde abril de 2006, el precio del petróleo rompía sus propios récords con el paso de cada mes, llegando así en mayo de 2008 a más de B/ 133,17 por barril. Es así como a comienzos de junio de 2008 tanto los barriles WTI (West Texas Intermediarte utilizado como referencia para el barril de petróleo utilizado en Estados Unidos) como Brent (referencia para el barril de petróleo utilizado en Europa) superó los B/ 140.00. El último precio máximo se dio el 11 de julio de 2008, y fue de B/ 147,25 el Brent y B/ 146,90 el WTI. No obstante, en el mes de diciembre de 2008, el precio del barril de petróleo tocó el nivel más bajo del año, B/33,36.

Este aumento de los precios que el petróleo y otros combustibles fósiles ha experimentado desde principio de la década del setenta del siglo XX y el agotamiento que se vaticina de estos recursos no renovables de nuestro planeta, ha traído como consecuencia que el hombre intente buscar otra fuentes energéticas que sustituya parcial o totalmente estos recursos energéticos. Como resultado de esta situación se ha desarrollado, fuentes alternas de energía tales como la energía eólica, fotovoltaica y aquellas obtenidas a partir de biomasa, tales como el etanol extraído de la caña de azúcar y maíz; y el biodiesel a partir del aceite de soya y la palma aceitera. A estos recursos biológicos productores de energía se ha sumado más recientemente los estudios de la biomasa de la especie ***Moringa oleífera Lam***, por su gran potencial para la producción de biogás y etanol.

En Nicaragua se han llevado a cabo estudios sobre la producción de biocombustibles a partir de la biomasa de *Moringa oleífera Lam.* Ensayos realizados empleando diferentes densidades de siembra revelan que la densidad de siembra óptima para producción de biomasa utilizando la Moringa es de 1000 000 de plantas/ha con 9 cortes/año durante 4 años. De esto se obtiene un promedio de 580 ton de materia verde/ha/año; lo que equivale más o menos a 98.6 toneladas de materia seca/ha/año. (Foidl, 2003)

En Panamá durante el 2010, Moreno y Samudio realizaron una investigación con esta especie utilizando densidades de 100 000 hasta 500,000 plantas por hectárea y encontraron que la producción de biomasa tendió incrementar conforme se aumentó la densidad de siembra. Los mejores rendimientos se obtuvieron en la densidad de 500 000 plantas/ha con 35636 kg de materia verde/ha/6 meses; lo que equivale a 5684 kg de materia seca/ha/6 meses.

### **1.3 Justificación**

En los últimos años en algunas universidades, instituto de investigación y en empresas privadas ha habido un aumento en la investigación sobre biocombustibles de origen vegetal, mientras que algunas empresas ya están participando en la producción y comercialización de biocombustibles, los cuales reemplazan parcialmente a los combustibles tradicionales, tales como la gasolina y el diesel.

La producción de biocombustibles es una industria que apenas comienza; durante el 2009, en Europa sólo se emplearon 2 millones de toneladas de etanol (bioalcohol), en comparación con los más de 310 millones de toneladas de combustible fósil. Esto porque la industria se mantiene a la expectativa sobre sus resultados, así como el todavía alto costo que implica generar biocombustibles. (Sinfuentes G, 2010)

En la Unión Europea el objetivo es que en el año 2020 al menos 10% de la energía para el transporte provenga de recursos renovables. China por su parte durante el 2010 produjo alrededor de 2,500 millones de litros de etanol provenientes de granos no comestibles (ha limitado la producción de etanol a base de cereales). Estados Unidos y Brasil son actualmente los mayores productores de etanol, 48% y 31% respectivamente, mientras que la Unión Europea produce 60% del biodiesel. (Sinfuentes G, 2010)

La Agencia Internacional de Energía calculó un incremento global en la demanda energética de 40% a partir del 2010 hasta el 2030, lo que implica el uso extra de 16,800 millones de toneladas de petróleo; el aumento de 42% en la demanda de gas, 53% de carbón, todo esto junto a un crecimiento anual de 2.5% en los requerimientos de electricidad. Lo anterior también implica mayores emisiones de dióxido de carbono (40%) para el 2030. (Sinfuentes G, 2010)

Actualmente, se consumen alrededor de 3.500.000 toneladas de hidrocarburos por día a nivel mundial y la capacidad de la Tierra, así se empleara toda su superficie cultivable, en la producción de biocombustibles y no a la producción de alimentos,

sólo alcanzaría a producir 1.400.000 toneladas de biocombustible, con un impacto ambiental y social, sin precedentes y de difícil proyección. (www.preciopetroleo.net, 2011)

Según el Banco Mundial el 70% del aumento de los precios de los alimentos entre el 2002 y 2008 se debió básicamente a las consecuencias relacionadas con el aumento del precio del petróleo, las bajas reservas de granos, los grandes cambios en el uso de la tierra, las actividades especulativas, las prohibiciones a las exportaciones y a la producción de biocombustibles. En 20 años se emplearían entre 21 a 70 millones de hectáreas de terrenos cultivables para la producción de biocombustibles, lo que representa menos alimentos para una buena parte de la población mundial.

Frente a esta situación sobre los biocombustibles se tienen dos puntos de vistas; quienes están a favor y quienes están en contra; sin embargo, existe un punto de equilibrio entre ambas partes. Este punto de equilibrio radica principalmente en entender que los biocombustibles no van a remplazar en su totalidad al petróleo, mucho menos con la gran demanda mundial que goza este último, sino que viene a complementar de manera alternativa la gran demanda de energía que existe actualmente. Pues no se puede depender de una sola fuente energética y mucho menos si no es renovable. Una alternativa viable, además de otras mencionadas previamente que pudiera contribuir para disminuir parcialmente el consumo y la dependencia del petróleo es el uso de la especie conocida comúnmente como moringa.

La moringa (***Moringa oleífera Lam***), una especie de crecimiento muy rápido, posee un potencial enorme para la producción de biocombustible como biogás y el etanol. De acuerdo con algunos estudios realizados, a través del uso de la biomasa de esta especie se pueden producir 35,000m<sup>3</sup> de biogás por hectárea bajo cultivo y 20,000 litros de etanol por hectárea cultivada (Mayorga L. 2007).

Fundamentado en el potencial de producción de bioenergía de la moringa, se propuso este trabajo de investigación que tiene como objetivo evaluar tres densidades de siembra de la especie ***Moringa oleífera Lam*** en la extracción de nutrientes y la producción de biomasa como materia prima para la obtención de biocombustible.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 General**

Determinar la capacidad potencial de producción de biomasa de la especie ***Moringa oleífera Lam*** como productora de materia prima para la producción de biocombustibles.

### **1.4.2 Específicos**

- Determinar el impacto del uso de diferentes densidades de siembra en la producción de biomasa, como materia prima para la obtención de biocombustible.
- Cuantificar la extracción de nutrientes en diferentes densidades de siembra.

## 1.5 Hipótesis

**Ho:** La producción de biomasa del cultivo de *Moringa oleífera Lam* no será afectado por la densidad a la que se siembra.

**Ha:** La producción de biomasa del cultivo de *Moringa oleífera Lam* será afectado por la densidad a la que se siembra.

## 1.6 Alcances y limitaciones

### 1.6.1 Alcances

Los resultados muestran la producción de biomasa de la especie *Moringa oleífera Lam* solo bajo las densidades de siembra utilizadas (200 000, 400 000 y 600 000 plantas/ha) por lo que se recomienda que no se extrapolen los resultados para calcular rendimientos en densidades superiores.

Se podrá recomendar la densidad en la que se obtengan los mayores rendimientos de biomasa.

Los rendimientos obtenidos, son un reflejo también de la disponibilidad de nutrientes del suelo, tanto los que proveen el suelo mismo como aquellos que aportan los fertilizantes por lo que las variaciones en la fertilidad del suelo afectan los rendimientos de biomasa de la especie. A parte de ser afectadas por el clima, el potencial genético de producción de la moringa y la disponibilidad de humedad.

Este estudio permitió calcular las extracciones de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) y micronutrientes (Mn, Fe, Zn, Cu); sien embargo, es importante reconocer que los resultados obtenidos reflejan las interacciones entre las plantas (moringa),

el suelo (fertilidad y disponibilidad de humedad) y el clima (temperatura, hora luz, radiación solar, precipitación pluvial, etc.) por lo que situaciones adversas en algunos de los componentes puede incidir en la cantidad extraída de nutrientes.

La tasa de mortalidad registrada durante el ensayo muestra los efectos de competencia entre plantas, la poda y el estrés hídrico.

### **1.6.2 Limitaciones**

El arreglo espacial de las plantas en el campo, afecta la capacidad productiva de biomasa por lo que los resultados que se lograron son una consecuencia de los arreglos espaciales que se prueban en este ensayo y no pueden ser extrapolados cuando se cambia la relación espacial.

Sólo se evaluó el rendimiento de biomasa y la extracción de nutrientes.

Los rendimientos que se alcanzaron se limitan solo a tres densidades de siembra, así como también los resultados de extracción de nutrientes.

El método de riego empleado en el período de verano no fue el más adecuado, pues no satisfacía las necesidades de agua que requiere el cultivo, tanto para su óptimo desarrollo como para su recuperación después de la cosecha.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Aspectos generales

El árbol de moringa, es originario del sur de Asia donde ha existido por más de 4,000 años. Desde el noreste de Paquistán hasta el norte de Bengala del Oeste (la India). Ha sido introducido y se ha naturalizado en otras partes de la India, Paquistán, Afganistán, Bangladesh, Sri Lanka, el sudeste de Asia, Asia occidental, la península Arábiga, África del este y oeste, el sur de la Florida, México, Perú, Paraguay y Brasil. Se valora principalmente por sus frutas, hojas, flores, raíces, todas comestibles, y por el aceite obtenido de las semillas. Se usa extensamente en la medicina tradicional en las áreas en donde es nativo y en donde ha sido introducido. (Parrotta, 2002)

#### 2.1.1 Descripción botánica

La *Moringa oleífera Lam* comúnmente llamado “moringa” es un árbol de la familia Moringaceae (Foidl 2003).

Es un árbol perennifolio de tamaño pequeño y crecimiento rápido, que usualmente alcanza una altura de 10 a 12 metros hasta la corona, con tronco de 0.20 a 0.30 metro de diámetro. Tiene una copa abierta y esparcida de ramas inclinadas y frágiles, de hojas compuestas imparipinadas de 30 a 70 cm de longitud. Sus flores son blancas, cremosas, con estambres amarillos y nacen en racimos. Mientras que su fruto es una cápsula trilobulada dehiscente de 20 a 40 cm de longitud, que se abre en tres, contiene de 12 a 25 semillas por fruto. Posee raíces pivotantes

fuerzas y profundas. Tiene una vida relativamente corta, alcanzando un promedio de 20 años.

### **2.1.2 Adaptación ambiental**

Es un árbol de exigencias tropicales que crecen en climas semiáridos y semi-húmedos (Geilfus, 1990).

Es indispensable tener conocimiento de la respuesta fisiológica de la especie a las condiciones ambientales para poder elaborar proyectos racionales de siembra y manejo ya que el clima puede influir significativamente en aspectos como crecimiento, desarrollo y productividad de las plantas.

#### **2.1.2.1 Temperatura**

Según Troup, citado por Parrotta (2002), la moringa se desarrolla bien cuando las fluctuaciones anuales de temperatura tienden a ser muy marcadas, con temperatura a la sombra mínima y máxima de -1 a 3°C hasta 38 y 40°C respectivamente.

La moringa crece mejor cuando la temperatura varía de 26 a 40°C y tolera sequía hasta por seis meses (Kart, 1996).

#### **2.1.2.2 Humedad**

El agua afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas ya que actúa como constituyente, solvente, responsable de la turgencia celular y reguladora de su temperatura, pero la cantidad, frecuencia e intensidad de las lluvias determinan en gran medida la adaptación de una especie forrajera particular a un ambiente

determinado. La moringa necesita al menos 700 mm anuales, aunque hay reportes de lugares del pacífico de Nicaragua donde con 300 mm crece muy bien. Se ha observado un buen comportamiento en lugares con precipitaciones anuales de 2000 mm. (Kart, 1996).

### **2.1.2.3 Suelos**

La moringa puede crecer en todo tipo de suelos (pH 4.5 -8), aunque la mejor respuesta en desarrollo y productividad se obtiene en suelos neutros o ligeramente alcalinos, bien drenados o arenosos y donde el nivel freático permanece bastante alto por todo el año, tolera suelos arcillosos, pero no encharcamientos prolongados. (Kart, 1996).

## **2.2 Densidad de siembra**

En investigaciones realizadas por Nikolaus Foidl (1999), se evaluó la producción de biomasa fresca y materia seca con densidades de siembra de 95 000 hasta 16 000 000 de plantas/ha. Los resultados obtenidos por Foidl en el primer corte muestran que la producción de materia seca por hectárea se incrementa con las densidades más altas, los datos registrados van desde 3330 kg de materia seca/ha (95 000 plantas/ha) hasta 16 560 kg de materia seca/ha (4000 000 plantas/ha) de materia seca/ha. Sin embargo, la densidad óptima para el cultivo de moringa encontrado en este ensayo fue la de 1 000 000 plantas/ha (13 260 kg/ha de materia seca) debido a que este tratamiento presenta un buen rendimiento y el porcentaje de mortalidad de plantas más aceptable (aproximadamente 30% en 9 corte); mientras que en las densidades más altas (4 y 16 millones de plantas/ha)

se registraron mortalidades muy superiores de aproximadamente 30% y 40% respectivamente en el primer corte.

En otro estudio realizado por el mismo autor, con las mismas densidades de siembra, se encontró que la densidad de 1 millón de plantas/ha fue considerada como la óptima, por la producción de biomasa fresca, costo de siembra, manejo del corte y control de malezas en buenas condiciones agroclimáticas.

En el caso de las altas densidades (más de 1 millón de plantas/ha), la alta densidad crea una alta competencia entre las plantas, vía fototropismo, incidiendo esto, en pérdidas de plántulas de hasta 30%, lo cual directamente produce altas pérdidas de material. Adicionalmente los diámetros de los tallos y rebrotes son delgados, incidiendo negativamente en la producción de material. Aunque se obtienen altas cantidades de masa fresca a expensa de la alta densidad (Foidl 2003).

Recientemente Moreno y Samudio (2010) en un estudio realizado en provincia de Chiriquí, Panamá evaluaron la producción de biomasa en tres densidades de siembra que iban desde 100 000 plantas/ha hasta 500 000 plantas/ha, encontraron que la producción de biomasa en la especie ***Moringa oleífera Lam*** fue afectada por la densidad a la que se sembró incrementándose los rendimientos a medida que se aumentó la cantidad de plantas/ha y siendo la

densidad de 500 000 plantas/ha en la que se obtuvo los mejores rendimientos con 35636 kg/ha/6 meses de materia verde equivalente a 5684 kg/ha de materia seca.

### **2.3 Control de malezas**

Es importante evitar que las malezas, compitan con el cultivo, éstas se pueden controlar manualmente (chapia con machete o azadón) o con la aplicación de productos químicos utilizando una bomba de mochila y pantalla para no dañar las plantitas de moringa (Sánchez, 2004).

Se recomienda realizar un control de malezas a los 25 días después de la emergencia, para impedir que la maleza compita con el cultivo. En caso de altas infestaciones de cyperáceas, será necesario realizar control manual de macollas, por lo incómodo del control de malezas en altas densidades (Sánchez, 2004).

### **2.4 Plagas y Enfermedades**

Las principales plagas en vivero son: arrieras (***Atta spp***) langosta medidora (***Mocis latipes***), escamas (***Coccus spp***) y en el menor de los casos están los ácaros (***Aceria sbeldoni***). El caso de los ácaros es más común en la siembra directa con altas poblaciones (Sánchez, 2004).

Es un árbol muy susceptible a ataques de comején y otros insectos como: ***Eupterote mollifera*** y ***Tetragonia siva*** (Geilfus, 1990).

Algunos insectos que también atacan a la moringa en su etapa larval son las lepidópteras como *Metanastia hyrtaca*, *Heliopsis armigera* y *Helopeltis antonii*; también el áfido *Aphis caraccivora*, los insectos cóccidos como la *Ceroplastodes cajani* y *Diaspidotus sp.*, los barrenadores de los tallos como *Indarbela tetraonis* y *Diaxenopsis apomecynoides* y la mosca de la fruta *Gitonia sp* (Morton, citado por Parrotta, 2002).

El árbol de moringa no se ha visto afectado por ninguna enfermedad seria, en el área de su distribución natural o donde se ha introducido, sin embargo, en el sur de la India varias enfermedades se han reportado, como causantes de daños menores en arboles de moringa; incluyendo una pudrición de las raíces causada por *Diplodia sp*. También se ha reportado una pudrición de la fruta causada por *Cochliobulus hawaiiensis* (Kshirsagar, citado por Parrotta, 2002).

## **2.5 Fertilización**

### **2.5.1 Fertilización orgánica**

Tiene como función aprovechar la materia orgánica producida en la finca o en otros lugares, incorporando los elementos nutritivos que contiene al suelo para mejorar su nivel de fertilidad. La fertilización orgánica tiene la particularidad de que la liberación de los elementos (N, P, K) a la solución del suelo y su posterior incorporación a los procesos físicos químicos del sistema suelo-planta, no es inmediata, ya que exigen la previa mineralización de la materia orgánica (Sánchez, 2004).

La materia orgánica sirve para mejorar las condiciones físicas (estructura) del suelo, además ayuda a aumentar las poblaciones de microorganismos del suelo. La aplicación del compost se realiza con el primer pase de rastra. La dosificación es de 70 qq/ha (Sánchez, 2004).

### **2.5.2 Fertilización química**

Las necesidades de aplicación dependerán de las recomendaciones surgidas del análisis del suelo. Pero se puede manejar una aplicación a base de 2 qq de urea y 2qq de completo fraccionado en dos aplicaciones. En la primera aplicación (presiembrado) se aplican 2 qq de completo y después de la primera poda se aplican los dos quintales de urea.

Aún existe la necesidad de continuar con los ensayos para determinar que tan sostenible es este tipo de producción a largo plazo y a que costos. Grandes cantidades de minerales (1,600 kg de Ca, 1,400 kg de Mg, 400 kg de P, 0.5 kg de Cu, 0.3 kg de Zn, 0.2 kg de B, entre otros) son necesarios por hectárea por año para mantener la productividad de 98,6 toneladas de materia seca (Foidl, 1999).

### **2.6 Extracción de nutrientes**

En los informes sobre el Proyecto de Investigación BIOMASA realizados en Nicaragua, se plantea que la moringa sembrada a una densidad de 1000 000 de plantas /ha, puede extraer del suelo: 1612 kg/ha/año de calcio, 338 kg/ha/año de fósforo, 429 kg/ha/año de magnesio, 1924 kg/ha/año de potasio, 24.7 kg/ha/año de sodio, 280 kg/ha/año de nitrógeno, 0.68 kg/ha/año de cobre, 0.6 kg/ha/año de

boro, 4.6 kg/ha/año de manganeso, 7.0 kg/ha/año de hierro y 0.3 kg zinc. (Foidl, 2003).

Según Foidl (1999), en las densidades de siembra más alta, la producción de materia seca tiende a aumentar, por ende, esto implica una mayor extracción de nutrientes del suelo, por lo que en el cultivo intensivo debe ser considerada una fertilización adecuada.

En un estudio realizado recientemente en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, en la provincia de Chiriquí, por Moreno y Samudio (2010), muestra que la extracción de macronutrientes tales como fósforo, potasio, calcio y magnesio, tiende a aumentar a medida que se incrementa la densidad de siembra. Mientras que en el caso del nitrógeno, las extracciones de este elemento tendió a disminuir a medida que se incrementó la densidad de siembra.

Por otro lado la extracción de micronutrientes (Mn, Zn, Cu y B), al igual que la mayoría de los macronutrientes, tendió a aumentar con el incremento de la densidad de siembra. Sin embargo, la extracción de hierro disminuyó levemente con el aumento de la densidad de siembra. (Moreno y Samudio, 2010).

Los resultados de extracción de nutrientes obtenidos en el mismo estudio, muestran que la planta de moringa sembrada a una densidad de 500 000 plantas/ha extrajo 73.72 Kg de nitrógeno/ha, 31.45kg de fósforo/ha, 140.77 kg de potasio/ha, 65.87 kg de calcio/ha y 16.9 kg de magnesio/ha. La extracción de micronutrientes fue de 401.60 g de manganeso/ha, 813.70 g de hierro/ha, 2101.21

g de zinc/ha, 29.83 g de cobre/ha y 90.06 g de boro/ha. (Samudio y Moreno, 2010).

## **2.7 Usos de la Moringa**

### **2.7.1 Producción de bioenergía**

Las semillas secas en su estado de madurez, y toda la biomasa de la moringa ofrece una alternativa para producir biocombustibles. Pues la producción de 10 MW de energía eléctrica, requiere de 80 toneladas de biomasa y 16.000 litros de alcohol por día, requieren una extensión de 1.500 hectáreas de ***Moringa oleífera Lam*** bajo riego (Foidl, 2002.).

En comparación, para producir la misma cantidad de energía con eucalipto se requiere de unas 8.000 hectáreas, cuyos árboles iniciarían producción entre los 3 y 5 años después de sembrados, mientras que con ***Moringa oleífera Lam*** se puede iniciar la producción a los 45 días después de su germinación (Foidl, 2002.).

En una hectárea de caña de azúcar se pueden producir 6500 litros/año de alcohol a partir de la melaza que se obtiene en la producción de azúcar, mientras que la misma área sembrada con ***Moringa oleífera Lam*** puede producir 8.400 litros/año (Foidl, 2002.).

En un estudio realizado por Barbosa (2010), señalan que los ácidos grasos encontrados en la semilla son: ácido oleico (74.71%), palmítico (6.86%),

araquídico (3.16%) y behénico (5.20%). Propiedades que influyen en la perspectiva de uso del aceite de *Moringa oleífera Lam* para biocombustible. Además su alto contenido en ácidos grasos insaturados, especialmente oleico, al igual que un contenido de ácidos grasos libres inferior al 3%, lo hacen promisorio como materia prima para el proceso de alcoholisis.

### **2.7.2 Cercas vivas**

Es utilizado como cerca viva empleando los tallos de las plantas a modo de postes vivos, soporta los diversos elementos de construcción de cercas: alambres, vallas y también provee sombra (Louppe, 1999).

### **2.7.3 Alimento para humanos**

Esta especie se valora principalmente por su utilidad en la alimentación humana, ya que casi todas las partes de la planta son comestibles. Sus cualidades nutricionales son sobresalientes y está considerada como uno de los mejores vegetales perennes.

Las hojas tiernas tienen sabor a berro, y se comen junto con las flores ya sea cocida o cruda. Son muy ricas en proteína, minerales, beta-caroteno, tiamina, riboflavina y otras vitaminas, particularmente las vitaminas A y C. El ácido ascórbico (vitamina C) en las vainas verdes varía de entre 92 a 126 mg por 100 g de pulpa. (Parrotta, 2002)

Según un estudio de la FAO, el contenido de proteínas es del 27 por ciento (tanto como el huevo y el doble que la leche) y tiene cantidades significativas de calcio

(cuatro veces más que la leche), hierro, fósforo y potasio (tres veces más que los plátanos), así como vitamina A (cuatro veces más que las zanahorias) y C (siete veces más que las naranjas). También en algunos países se comen los frutos, semillas, hojas y flores como verduras nutritivas (Makkar y Becker, 1997)

Los valores y hallazgos reportados indican que la utilización de las hojas de moringa en mezcla con los alimentos consumidos tradicionalmente, constituyen una alternativa para mejorar el valor nutritivo y la alimentación de grupos de población rural altamente vulnerables como son las mujeres y los niños menores de cinco años y que además, por sus características agronómicas, es uno de los escasos vegetales disponibles durante los períodos secos. Incluso se han elaborado y evaluado recetas utilizando moringa deshidratada y moringa fresca, para promover la utilización de las hojas de este árbol. (Parrotta, 2002, citado por Moreno y Samudio, 2010).

#### **2.7.4 Forraje para ganado**

La moringa es un forraje apto para ganado bovino, por la alta cantidad de proteína que estos animales requieren. Para porcinos, cabras, ovejas, equinos, camellos y aves es igualmente muy bueno.

El corte de los rebrotes se realiza en intervalos entre 35 y 45 días, estos en función de las condiciones de manejo del cultivo, pueden llegar a tener una altura de 1.20- 1.5 m. El material cortado, tallos, ramas y hojas se pican y se suministra a

los animales. Se ha llegado a ofrecer hasta 27 kg de material fresco/animal/día. (Foidl, 2003).

Cuando se inicia la alimentación con moringa es posible requerir de un periodo de adaptación, mezclándolo con otros alimentos que se le ofrece al ganado. La moringa se puede utilizar como un complemento proteínico o sustituto completo.

Investigaciones realizadas en Nicaragua, ha constatado que suministrando hojas de moringa en un porcentaje del 40-50%, sobre la ración total, la producción de leche en vacas y el incremento de peso en terneros aumentaba en un 30%. También los animales recién nacidos pesaban entre un 13 y un 22% más. (Foidl, 2003).

### **2.7.5 Aceite**

La semilla de moringa contiene un 35% de aceite. Es un aceite de muy alta calidad, poco viscoso y dulce, con un 73% de ácido oléico, de calidad por tanto similar al aceite de oliva. Empleado en cocina, no se vuelve rancio, muy bueno para aderezar ensaladas. También puede tener interesantes aplicaciones en lubricación de mecanismos y fabricación de jabón y cosméticos. Este aceite arde sin producir humo, es apto, por tanto, como combustible para lámparas. (Foidl, 1999).

Este aceite es muy apreciado en perfumería por su capacidad de absorber y retener olores, y por relojeros como lubricante. La costra del aceite se usa como abono. (Parrotta, 2002).

### **2.7.6 Clarificador de agua**

Las semillas machacadas atraen (cargas iónicas) bacterias y virus que se les quedan adheridos; estas semillas se separan posteriormente colando el agua o atrapándolas en las diversas capas de filtración. Por estas razones, los investigadores recomiendan la plantación de estos árboles, pues con sus semillas podrían evitarse los millones de muertes que ocasiona actualmente el agua contaminada. Las semillas actúan como floculante que capturan las partículas en suspensión en el agua y provoca que se agreguen entre sí y se precipiten al fondo. Las semillas pueden emplearse artesanalmente moliéndolas y envolviéndolas en algún tipo de tejido que impida que se disgreguen al introducirlas en el agua al purificar. (Foidl, 2003).

López (2004), encontró que las semillas de *Moringa oleífera Lam* funcionan como floculante-coagulante, y pueden ser consideradas como coagulantes primarios naturales, que podrían sustituir al sulfato de aluminio en un futuro en zonas de bajos recursos, por ser de bajo costo y fácil manejo. Además demostró la efectividad del uso de semilla de moringa en el tratamiento de agua disminuyendo el valor, según los resultados obtenidos, en los parámetros medidos entre ellos: turbiedad, color, potencial de hidrógeno, sólidos disueltos, dureza, cloruros y coliformes totales.

### **2.7.7 Medicinal**

A la planta se le atribuyen múltiples propiedades farmacológicas, tales como antiescorbúticas, antiinflamatorias, antimicrobianas, cicatrizantes, diuréticas,

purgantes, estimulantes, expectorantes, febrífugas y abortivas. Medicinalmente se usan las hojas, corteza, raíces y semillas (CEMAT, 1998; Morales, 1980; Cáceres, 1990; Shukla, 1987, citado por Moreno y Samudio, 2010).

Tiene aplicaciones medicinales muy variadas, especialmente en sus países de origen. Algunas partes de la planta de moringa son utilizadas como diuréticos, para la hipertensión y en el tratamiento de las enfermedades de la vejiga. De la corteza se extrae una goma que es usada como condimento o en el tratamiento de algunas enfermedades del estómago. De esta goma y de la corteza en sí se extraen los taninos, empleados en la industria del curtido de pieles ([www.agrodesierto.com](http://www.agrodesierto.com), 1999).

Con las vitaminas de la moringa, se puede reconstruir los huesos débiles, tratar a los anémicos, enriquecer la sangre y permitir que una madre malnutrida, recupere el apetito para la lactancia de su bebé. El extracto de la hoja de moringa ha demostrado ser eficaz en la reducción de los niveles de azúcar en la sangre dentro de las 3 horas de ingestión, aunque menos eficaz que el estándar de drogas hipoglucemiantes y la glibenclamida (Fritz, 2004, citado por Moreno y Samudio, 2010).

### **2.7.8 Fitohormona**

La planta de moringa es una fuente de hormonas promotoras de crecimiento vegetal; obtenidas a partir del extracto de hojas y tallos jóvenes. El principio activo

es la zeatina, una hormona vegetal del grupo de las citoquininas. También es interesante hacer notar que las hojas de moringa, incorporadas directamente al suelo previenen el ataque de ciertas plagas (*Pythium debaryanum*). (Fugliee, 2000).

El jugo de las plantas de moringa puede utilizarse a fin de producir una hormona que es efectiva para el crecimiento de las plantas, aumentando el rendimiento de un 25% a 30% para casi todo cultivo. Se recomienda que el rocío foliar se utilice además (y no en lugar de) otros fertilizantes, riego y prácticas agrícolas razonables (Fugliee, 2000).

En una prueba el mismo autor menciona que el uso de este rocío aumentó el rendimiento de campos de maíz de 60 a 130 sacos/ha. Utilizando esta hormona, el proyecto BIOMASA en Nicaragua pudo sembrar café a 30 metros de altitud. El café, con sombra de *Jatropha curcas*, produjo granos en apenas 17 meses. En ensayos realizados, utilizando el extracto de la moringa como abono foliar se registró un incremento en el rendimiento del maní (+27%), maíz NB-6 (+36%), cebolla (+14%), melón (+31%), pimentón (+47,8%), caña de azúcar (+6%) y frijoles negros (+19%) (Foidl, 1999). En otro ensayo realizado en Panamá, utilizando un extracto de las hojas de moringa y aplicado sobre el cultivo de pepino, se obtuvo un aumento significativo en el rendimiento. Se incrementó 11% al compararlo con el tratamiento testigo y 5% en comparación con la benzilaminopurina. (Laude, 2004).

### 2.7.9 Proteína

La ***Moringa oleífera Lam*** contiene alrededor de 27% de proteína cruda (Foidl, 2003) y es una de las pocas plantas que contienen todos los aminoácidos esenciales, por lo que se considera como un alimento adecuado para las poblaciones que carecen de una fuente de proteína de calidad en su dieta. (FAO, 1992. Citado por Almengor, 2010).

Según Almengor (2010), en un estudio de extracción de proteína realizado recientemente; encontró que el contenido de proteína bruta contenida en las hojas se mantuvo constante con valores alrededor del 20%. Por otro lado el valor porcentual de proteína extraída mediante el método enzimático fue de 0.98%, un resultado realmente bajo si se utiliza en un proceso industrial. Mientras que el rendimiento porcentual de la proteína de moringa en la extracción de proteína soluble de moringa mediante el uso del quitosano para lograr la floculación selectiva de la fracción cloroplástica de follaje en solución, fue de un 2.40%, muy superior obtenido con el método de extracción enzimática.

### 2.7.10 Otros Usos

La ***Moringa oleífera Lam*** es la especie más versátil en su género; entre los usos más comunes están:

- ✓ Ornamentales: Se trata de arboles muy interesantes y de formas atractivas. Soporta muy bien las podas y se pueden utilizar como arboles de sombra, como setos, pantalla visual y auditiva, incluso como cortavientos. Muchas

especies, sobre todo los "arboles botella" son muy interesantes como ejemplares aislados.

- ✓ Combustible para cocinar: La leña proporciona un combustible aceptable, especialmente para cocinar. Ligera, con una densidad media de 0.6 y un poder calorífico de 4.600 Kcal/kg.
- ✓ Abono Orgánico: Los subproductos derivados del procesado de la semilla forman una torta de gran valor como fertilizante natural y de un alto contenido en nitrógeno.
- ✓ Melífero: El árbol durante la floración es una importantísima fuente de néctar para las abejas.

De la corteza se extraen fibras aptas para elaboración de cuerdas, esteras y felpudos. Las hojas trituradas se emplean en áreas muy remotas como agente de limpieza. De la madera se puede extraer un tinte azulado de interés industrial. También se extrae de la corteza una goma con varias aplicaciones. De esta goma y de la corteza en sí también se extraen taninos, empleados en la industria del curtido de pieles. También es utilizado en sistemas agroforestales y silvopastoriles. (Mayorga y Foidl 2001).

### **3.0 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Ubicación del ensayo**

La parcela del ensayo se encuentra ubicada en la provincia de Chiriquí, en la Facultad de Ciencias Agropecuarias (F.C.A) de la Universidad de Panamá, sede Chiriquí, dentro de la parcela 11b del Centro de Enseñanza e Investigación Agropecuaria de Chiriquí (CEIACHI) al este del río Chiriquí y al sur de la carretera Panamericana a los 8°23'54" latitud norte y los 82°20'19.39" longitud oeste. La parcela experimental se estableció en un área de 414.4 m<sup>2</sup>

Según Holdridge, la zona de vida a la que corresponde la ubicación del ensayo es bosque húmedo tropical. La precipitación promedio en ésta área es de 2856.9 mm/año, la humedad relativa promedio es de 80%, la temperatura media es de 27.1 °C, el promedio de evaporación es de 5.13 mm/día y la velocidad media del viento medida a 2 metros sobre el suelo es de 1.11 m/s. Estos datos son el resultado del registro de cada una de las variables climáticas durante un periodo 22 años. (CEIACHI, 2007).

Según el balance hídrico del lugar existe un déficit hídrico en los meses de enero, febrero, marzo y abril; después se inicia un proceso de recarga por inicio de las lluvias de mayo y junio, proceso que se termina en noviembre. Luego en diciembre, mes en que la evapotranspiración (ETP) es mayor que la precipitación (Ppt), se inicia el consumo de las reservas de humedad por parte de la vegetación y finaliza en abril. (Alonso, 2009).

### **3.2 Muestreo y análisis de suelo**

La muestra de suelo fue tomada de la parcela experimental utilizando el método de la muestra compuesta. La muestra compuesta consistió en una mezcla de 30 sub muestras tomadas al azar a 20 cm de profundidad del suelo. Cada sub muestra se fue depositando en un balde donde luego fueron mezcladas; posteriormente se tomó 1 kg de la mezcla de suelo como la muestra requerida para el análisis. Finalmente, la muestra fue debidamente identificada con el lugar, la fecha, número de parcela, nombre del proyecto y nombre del investigador. Es importante señalar que para la realización de este muestreo y con el fin de evitar errores durante el análisis de laboratorio se tomaron en cuenta todas las precauciones necesarias como uso de bolsas plásticas nuevas y limpias, la remoción de plantas, hojarasca, piedras, raíces gruesas, lombrices e insectos en los sitios de muestreo, y la limpieza de la herramienta (barreno holandés) después de la obtención de cada sub muestra.

Para realizar el análisis textural de la muestra de suelo se empleó el método de Bouyoucos utilizando una solución de polifosfato de sodio al 5% como agente dispersante. La determinación del contenido de materia orgánica en el suelo fue llevada a cabo mediante el método de Walkley – Black.

Para la determinación del pH del suelo se empleó una proporción de suelo – agua de 1: 2.5 y se determinó con un potenciómetro.

El aluminio y la acidez intercambiable fueron determinados mediante el método de KCl 1 N. El fósforo (P) se extrajo con una solución doblemente ácida ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025 N + HCl 0,054 N) y se determinó la concentración por colorimetría. Los macronutrientes (Ca, Mg, K, Na) y los micronutrientes (Mn, Fe, Zn y Cu) se extrajeron con una solución doblemente ácida (HCl 0.054N +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.025N) y se determinó la concentración respectiva utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica.

**Cuadro I.**  
**Análisis de suelo de la parcela 11b.**

Arcilla	Arena	Limo	Clasf.	pH (H <sub>2</sub> O)		P	K		Na		Fe		Cu		Mn		Zn		Ca		Mg		Acidez	Al	Mat org.				
%			Textural	(1:2.5)		ppm = (mg/L) = (mg/kg)												meq/100g		%									
18.28	56.66	25.06	Franco Arenoso	5.0	mA	5.0	b	120.0	m	7.8	b	25.7	m	3.4	m	19.4	m	0.7	b	7.14	a	1.74	a	1.06	m	0.50	b	8.84	a

mA= Muy ácido      A= Ácido      pA= Poco Ácido      N= Neutro      Alc= Alcalino      mAlc= Muy Alcalino

a= alto      m= medio      b= bajo

### **3.3 Preparación de la parcela**

Se realizó un pase de rastra pesada 30 días antes de la siembra, posteriormente se hizo una aplicación del herbicida glifosato con una dosis de 2.5 L. de producto comercial por hectárea, para controlar de manera prolongada la maleza en el sitio durante la emergencia de las semillas de moringa. Finalmente, se volteó una capa de 10 cm suelo de manera manual empleando azadones, previo a la labores de siembra.

### **3.4 Siembra y tamaño de la unidad experimental**

Para la delimitación y marcado en campo del área del ensayo y de los bloques experimentales se empleo el método de planimetría “3, 4, 5” mediante el uso de una cinta métrica de 50m, estacas e hilo. Las dimensiones del área total del ensayo fue de 14m de ancho x 29.6m de largo, y de las unidades experimentales (bloques) fue de 6,0m de ancho x 13.8m de largo con una separación de 2m entre bloques.

El método utilizado para la siembra fue el de siembra a chorro manual; el cual consiste en depositar las semillas manualmente a lo largo y en el fondo de cada surco tratando de disponerlas lo más uniforme posible. Para éstos se requirió cavar a poca profundidad los surcos dentro de los bloques experimentales, con espaciamiento de 0.60m entre surcos y 6m de largo.

Cada bloque estaba compuesto por 24 surcos. Dentro de cada bloque experimental se estableció una repetición de cada tratamiento y cada tratamiento

estuvo constituido por parcelas de 6 hileras de las cuales las 4 centrales fueron consideradas como parcela efectiva. Los tratamientos inicialmente utilizados consistieron en densidades de siembra de 250 000; 500 000; 750 000 y 1000 000 de plantas/ha. Sin embargo, debido al bajo porcentaje de germinación de las semillas que se dio probablemente por el efecto de hiperhidratación de las semillas provocado por los intensos eventos de precipitación pluvial ocurridos una semana después de la siembra que inclusive inundó la parcela experimental, aunado al largo periodo de almacenaje de las semillas, lo cual afecta directamente su viabilidad y vigor germinativo, estas densidades fueron modificadas. El ensayo fue llevado a cabo utilizando 3 densidades de siembra (200 000; 400 000 y 600 000 plantas/ha) y 4 repeticiones de cada tratamiento.

Anterior a la siembra la semillas fueron limpiadas de impurezas a través de corriente de aire. Fueron pesadas y contabilizadas para poder generar el método volumétrico que fue empleado para obtener el número de semillas aproximado al momento de establecer los diferentes tratamientos en campo. Además, se colocó una cantidad superior de semillas a lo deseado con el propósito de realizar posteriormente un raleo que permitiera ajustar las densidades a la población de plantas por hilera deseadas. Los totales de plantas/hilera ajustados (remanente después del raleo) para las densidades de siembra utilizados 200 000, 400 000 y 600 000 plantas/ha, fueron de 72, 144 y 216 respectivamente.

### 3.5 Diseño experimental

El diseño experimental utilizado en este ensayo fue el de bloques completos al azar (DBCA) con cuatro repeticiones y con los tratamientos distribuidos al azar con  $t = 3$  tratamientos consistentes en tres densidades de siembra. Tratamiento 2 = 200 000 plantas/ha, Tratamiento 4 = 400 000 plantas/ha, Tratamiento 6 = 600 000 plantas/ha.

El modelo lineal aditivo utilizado fue el siguiente:  $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$

Donde  $Y_{ij}$  = observación realizada en la unidad experimental ubicada en el bloque  $j$ th con la densidad  $i$ th.

$\mu$  = media de la población estimada por la media general.

$\tau_i$  = efecto de la densidad  $i$ th

$\beta_j$  = efecto del bloque  $j$ th

$\epsilon_{ij}$  = error experimental.

Sujeto a:  $i = 1, 2, 3$

$j = 1, 2, 3, 4$

La forma general de la tabla anova será la siguiente:

Fuente de Variación	Grados de Libertad
Bloques	$r-1 = 3$
Densidades	$t-1 = 2$
Error	$(r-1)(t-1) = 6$
Total	$(rt) - 1 = 11$

Se utilizó la prueba de rango múltiple de Duncan para comparar las medias de los tratamientos y el análisis estadístico de los resultados se realizó utilizando el programa SPSS disponible en el laboratorio de cómputo de la FCA.

### 3.6 Fertilización

La fertilización al momento de la siembra (18-46-0 y KCl) se efectuó depositando el fertilizante granulado en el fondo de un pequeño surco construido en cada hilera de siembra. La cantidad de N,  $P_2O_5$  y  $K_2O$  aplicada al momento de la siembra fue de 39.2 kg de N/ha, 100 kg de  $P_2O_5$ /ha y 50 kg de  $K_2O$ /ha. El resto de los fertilizantes fueron aplicados en chorro o chorrillo, cubriendo el área correspondiente de cada hilera en los sucesivos periodos de aplicación.

Como fuente de nitrógeno se utilizó el fertilizante 18-46-0 y la urea (46%). Para La totalidad del fósforo aplicado se realizó mediante el uso del fertilizante 18-46-0. El fertilizante utilizado para suplir la totalidad del potasio requerido en el ensayo fue el cloruro de potasio (KCl – 60% K<sub>2</sub>O). El magnesio y azufre requerido fue aportado con la aplicación de MgSO<sub>4</sub>. nH<sub>2</sub>O (16% de MgO y 12.8% de S). Los detalles de las aplicaciones realizadas se presentan en el cuadro II.

Cuadro II								
Cantidad de elementos aplicados y fuentes utilizadas en la fertilización de moringa								
Fertilización*	Fertilizantes aplicados	Cantidades (kg/ha)	Cantidad de elementos aplicados (kg/ha)					Fecha
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	S	
1	18-46-0	217.50	39.2	100				28/10/10
	KCL (60% K <sub>2</sub> O)	83.32			50.0			
2	UREA (46% N)	86.96	40.0					11/12/10
	MgSO <sub>4</sub> (16% MgO y 12.8% S)	250.00				40.0	32.0	
3	UREA (46% N)	86.96	40.0					18/01/11
	KCL (60% K <sub>2</sub> O)	333.28			200			
4	18-46-0	277.42	50	127.60				17/02/11
	KCL (60% K <sub>2</sub> O)	166.64			100			
	MgSO <sub>4</sub> (16% MgO y 12.8% S)	250.0				40.0	32.0	
<b>Total</b>			<b>169.2</b>	<b>227.7</b>	<b>350.0</b>	<b>80.0</b>	<b>64.0</b>	

\*1 Aplicado al momento de la siembra. 2 Aplicado antes de la primera cosecha. 3 Aplicado después de la primera cosecha. 4 Aplicado después de la segunda cosecha.

### **3.7 Control de malezas y plagas**

Para el control de malezas se utilizó inicialmente un control químico. Se aplicó glifosato con una dosis de 2.5 L. /ha de producto comercial antes de la siembra. Para el control mecánico de las malezas se utilizó machete y azadón; método utilizado durante todo el ensayo, posterior a la aplicación del herbicida.

Para el control de plagas especialmente insectos, se utilizaron productos disponibles en el mercado y sobre todo se prefirieron aquellos de baja toxicidad y su aplicación sólo se efectuó cuando resultó realmente necesario, como en el control de las arrieras donde se utilizó Hormitox y otros productos a base de cebos (Blitz) que contenían atrayente y para el control de insectos del follaje no hubo necesidad de realizar ningún tipo de control ya que no se presentaron daños provocados por estos insectos.

### **3.8 Riego**

Durante los primeros 60 días del ensayo que corresponde a los meses de noviembre y diciembre no hubo necesidad de riego, ya que las precipitaciones (pluviales) ocurridas le suministraron las cantidades de agua requerida para el debido desarrollo de las plantas.

Durante la época seca, se improvisó un método de riego que consistió en la utilización de un tanque cisterna de 2 280 litros de capacidad, tirado por un tractor y equipado con una motobomba de gasolina de 2" de salida el cual se abastecía de agua cruda procedente de la quebrada "La Berrona". El agua era trasegada

hasta la parcela de ensayo donde se regaba manualmente, empleando una bomba de espalda sin boquilla (esterilizada) con capacidad de 20 litros cubriendo todo el área del ensayo, tratando en todo caso que la distribución del agua fuera lo más uniforme posible. Este método resultó ser muy tedioso e ineficiente, ya que la descarga del agua de la bomba era muy lento y requería de mucho esfuerzo físico. Es oportuno mencionar que los riegos se realizaban durante las horas de la tarde para evitar la pérdida de agua por evaporación.

Durante el periodo del ensayo se realizaron 51 riegos, con una frecuencia de 3 riegos por semana, en cada riego se suministraban un promedio de 1.92 m<sup>3</sup> de agua, lo que equivale a 5.5 mm de lluvia (tomando en cuenta el área irrigada). La fecha de inicio de estos riegos fue el 29 de diciembre de 2010 y culminaron el 22 de abril de 2011.

### **3.9 Cosecha**

En éste estudio se realizaron tres cosechas de materia verde para la obtención de datos que permitieran conocer la producción de biomasa y la extracción de nutrientes del suelo de la especie ***Moringa oleífera Lam.***

La primera cosecha de biomasa se realizó a los 60 días después de la siembra; la segunda cosecha con un intervalo de 60 días y la tercera 98 días después de la segunda cosecha efectuada, esto a una altura aproximada de 20 cm sobre el nivel del suelo y se consideró como parcela efectiva las 4 hileras centrales de cada tratamiento dejando 0.5 metro de margen en los extremos de cada hilera por el

efecto de borde. La biomasa cosechada fue introducida en bolsas negras debidamente identificadas con el nombre del bloque y el tratamiento de donde fueron extraídas, las cuales fueron pesadas y registradas directamente en campo empleando una balanza calibrada en libras

Luego se procedió a realizar una poda de las hileras – borde (1 y 6). El material resultante de esta poda de emparejamiento fue colocado fuera del área de ensayo.

Posteriormente, la biomasa de cada bolsa (debidamente identificados con su bloque y tratamiento) fueron colocadas sobre una lámina de plástico negra y de allí se tomó una muestra compuesta que finalmente pasó por un proceso de picado. De este material picado se tomó una muestra representativa de materia fresca de cada tratamiento por bloque, la cual fue depositada en bolsas de papel e identificadas de forma adecuada y cuyo peso fue registrado (peso húmedo) utilizando una balanza digital.

Posteriormente, las muestras se colocaron en un horno para secado de muestras foliares a una temperatura de 65°C. Las muestras estuvieron inicialmente 72 horas en el horno; y luego se pesaban cada 24 horas para determinar los cambios de humedad en las muestras y para registrar el peso seco definitivo de las muestras se repitió el pesaje hasta llegar al punto en el que no se percibieron cambios significativos en el peso de las muestras asegurándose así de eliminar la humedad en su totalidad. Con estos datos (peso seco y peso húmedo) se determinó el

porcentaje de materia seca presente en cada uno de los tratamientos. Por medio del porcentaje de materia seca se calculó el rendimiento de cada tratamiento por bloque en kg/ha de materia seca.

### **3.10 Análisis foliar**

Antes de proceder al análisis foliar (hojas y tallos) se procedió a preparar una muestra compuesta mezclando porciones de materia seca de un mismo tratamiento pero de diferentes bloques. Esta operación se repitió al efectuar cada uno de los tres cortes realizados. El análisis de las muestras foliares sirvió para determinar la extracción de nutrientes por corte y por tratamiento y el total de nutrientes extraídos.

La determinación de fósforo foliar se realizó utilizando una solución de Molibdo-vanadato de amonio y se determinó utilizando un Espectrofotómetro (colorímetro).

Los macronutrientes (Ca, Mg, K, Na) y los micronutrientes (Mn, Fe, Zn y Cu) se extrajeron con HCl concentrado y se determinó la concentración respectiva utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica. El método de Kjeldahl fue utilizado para la determinación de nitrógeno foliar en las muestras

### **3.11 Parámetros evaluados**

#### **3.11.1 Producción de biomasa**

En este estudio se consideró como biomasa a todo el material vegetativo recolectado (hojas + tallos) de las cosechas (cortes) de las plantas de *Moringa*

**oleífera Lam.** Los datos para realizar el análisis estadístico consistieron en la utilización de los rendimientos (kg/ha) de materia seca por tratamiento/bloque/cosecha.

Para realizar la evaluación de la biomasa producida, se llevó un registro detallado de la producción de biomasa por cosecha y el total del periodo del ensayo. El rendimiento fue determinado como materia fresca y también como materia seca y los datos se reportan en términos de kg/ha. (Ver cuadros III, VI, IX y XI).

### **3.11.2 Extracción de nutrientes**

Para realizar esta evaluación, muestras compuestas de cada tratamiento y de cada cosecha fueron analizadas en el laboratorio de suelos y aguas de la FCA para cuantificar la extracción de nutrientes (macro y micronutrientes) de la moringa a lo largo de todo el periodo del ensayo. La extracción de los macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) se reportaron en kg/ha; mientras que la de los micronutrientes (Mn, Fe, Zn y Cu) se reportaron en g/ha. (Ver cuadro XIV).

### **3.3.3 Mortalidad y Supervivencia de plantas.**

Después de cada una de las cosechas realizadas en el ensayo, se procedió a contabilizar las plantas vivas por hilera/tratamiento/bloque. Ésto permitió conocer la tasa de mortalidad y supervivencia de plantas después de cada cosecha y durante todo el periodo del estudio. (Ver cuadro XVII).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Producción de Biomasa

#### 4.1.1 Primera cosecha

La producción de materia seca por tratamiento y por bloque en la primera cosecha aparece en el cuadro III y gráfico I. Los datos correspondientes a la producción de materia verde por tratamiento por bloque y por hectárea, y los porcentajes de materia seca aparecen en el cuadro II y III de anexos.

<b>Cuadro III</b>					
<b>Rendimiento de materia seca por tratamiento y por bloque en la primera cosecha.</b>					
<b>Tratamientos</b>	<b>Bloque 1</b>	<b>Bloque 2</b>	<b>Bloque 3</b>	<b>Bloque 4</b>	<b><math>\bar{X}</math></b>
Rendimientos (kg/ha)					
<b>T2</b>	151	331	253	624	340
<b>T4</b>	443	366	355	806	492
<b>T6</b>	555	675	457	960	662

El análisis de varianza muestra que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos (densidad de siembra), en el rendimiento de materia seca, para la primera cosecha, lo que indica que los rendimientos fueron afectados por las densidades de siembra empleadas (Cuadro IV). También existe diferencia altamente significativa entre los bloques, indicando ésto heterogeneidad del terreno utilizado en el ensayo.

El coeficiente de determinación ( $r^2= 0.86$ ) indica un buen porcentaje de ajuste del modelo experimental empleado y el coeficiente de variación (13.85%) refleja un buen control sobre el error experimental.

<b>Cuadro IV</b>					
<b>Análisis de varianza de los datos de producción de materia seca en la primera cosecha</b>					
<b>Fuente</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Fc</b>	<b>P</b>
<b>BLOQUE</b>	3	373588.67	124529.56	26.19	0.0010 **
<b>TRATAMIENTO</b>	2	207549.50	103774.75	21.83	0.0020 **
<b>ERROR</b>	6	28525.83	4754.31		
<b>TOTAL</b>	11	609664.00			

<b>Coefficiente de Determinación (<math>r^2</math>)</b>	0.862
<b>Coefficiente de Variación</b>	13.846%

**\*\* = diferencias altamente significativas al 1% de probabilidad.**

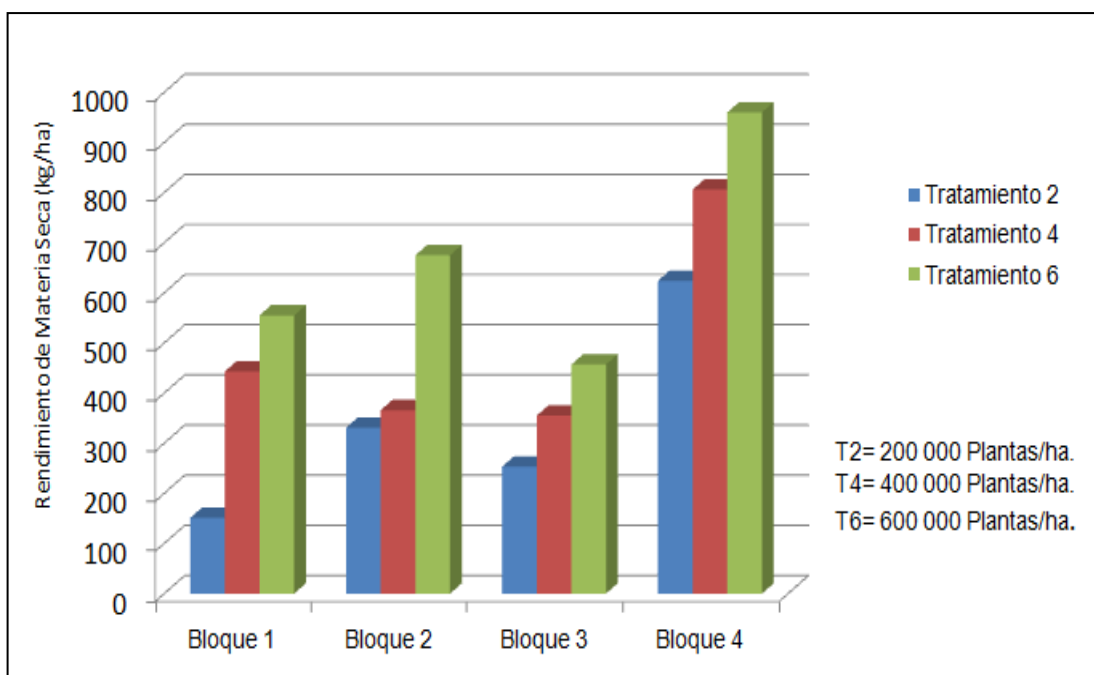
Al comparar las medias de rendimiento de materia seca entre los tratamientos (densidad de siembra), en la primera cosecha de biomasa con la prueba de comparación de medias de Duncan (Cuadro V), el tratamiento de 600 000 Plantas/ha (T6) presentó el más alto rendimiento, el cual difiere significativamente con el tratamiento T2 . Mientras que entre las densidades de siembra de 200 000 plantas/ha (T2) y 400 000 plantas/ ha (T2) no se observan diferencias significativa; no ostante, la media con más bajo rendimiento se obtuvo en la densidad de 200 000 plantas/ha. El rendimiento promedio alcanzado en la densidad de 600 000 plantas/ha fue de 662 kg/ha.

El rendimiento de materia seca (MS) obtenido por Moreno y Samudio (2010) en la densidad de siembra más alta (500 000 plantas/ha) fue de 1888.5 kg/ha/2 meses de MS, siendo superior al rendimiento alcanzado en la densidad más alta (600 000 plantas/ha) en este ensayo. Esto quizás pueda estar relacionado con la

disponibilidad de nutrientes en el suelo, a la excesiva humedad producto de la abundante precipitación pluvial, ocurridas en la estación lluviosa, la nubosidad y también al nivel freático muy cercano a la superficie del suelo que afectó la penetración de la raíces.

<b>Cuadro V</b>			
<b>Comparación de medias de rendimiento de materia seca (kg/ha) en la primera cosecha realizada utilizando la prueba de Duncan</b>			
<b>Tratamientos</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación de Duncan</b> Alpha = 0.01
6	4	662	A
			A
4	4	492	A B
			B
2	4	340	B

\*medias con la misma letra no presentan diferencias significativas.



**Grafico I. Producción de materia seca (MS) en la primera cosecha de *Moringa oleifera* Lam. utilizando tres densidades de siembra.**

#### 4.1.2 Segunda cosecha

La producción de materia seca por tratamiento y por bloque en la segunda cosecha aparece en el cuadro VI y gráfico II. Los datos correspondientes a la producción de materia verde por tratamiento por bloque y por hectárea, y los porcentajes de materia seca aparecen en el cuadro V y VI de anexos.

<b>Cuadro VI</b>					
<b>Rendimiento de materia seca por tratamiento y por bloque en la segunda cosecha.</b>					
<b>Tratamientos</b>	<b>Bloque 1</b>	<b>Bloque 2</b>	<b>Bloque 3</b>	<b>Bloque 4</b>	<b><math>\bar{x}</math></b>
Rendimientos (kg/ha)					
<b>T2</b>	522	1684	796	1672	1168
<b>T4</b>	883	1179	568	1659	1072
<b>T6</b>	1256	1936	1481	2731	1851

Los resultados del análisis de varianza indican que hubo diferencias altamente significativas entre los tratamientos (densidad de siembra), en el rendimiento de materia seca, para la segunda cosecha. (Cuadro VII). También existe diferencia altamente significativa entre los bloques, debido a las condiciones de heterogeneidad del terreno.

El coeficiente de determinación ( $r^2= 0.68$ ) indica un buen ajuste del diseño experimental y el coeficiente de variación (17.27%) indica igualmente un buen control sobre el error experimental. Sin embargo, hubo variación con respecto a la primera cosecha.

A pesar de que el estrés hídrico sufrido por las plantas en la época seca (el cual inició una semana antes de la primera cosecha) debido al ineficiente método de riego empleado, lo que a la su vez dificultó el tiempo de recuperación de las plantas posterior a la primera cosecha e incrementó la tasa de mortalidad de plantas en los tratamientos (Ver cuadro XVII), por otro lado los rendimientos de materia seca en la segunda cosecha mejoró con respecto a la primera cosecha; esto puede deberse al mayor desarrollo radicular de las plantas que les permitía acceder agua y nutrientes a mayor profundidad en el suelo, o a que en época seca la mayor radiación solar incrementó el proceso de fotosíntesis en las plantas.

<b>Cuadro VII</b>					
<b>Análisis de varianza de los datos de producción de materia seca en la segunda cosecha.</b>					
<b>Fuente</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Fc</b>	<b>P</b>
<b>BLOQUE</b>	3	2661172.92	887057.64	15.978	0.003 **
<b>TRATAMIENTO</b>	2	1442029.17	721014.58	12.987	0.007 **
<b>ERROR</b>	6	333102.83	55517.14		
<b>TOTAL</b>	11	4436304.92			

<b>Coefficiente de Determinación (<math>r^2</math>)</b>	0.669
<b>Coefficiente de Variación</b>	17.27%

**\*\* = diferencias altamente significativas al 1% de probabilidad**

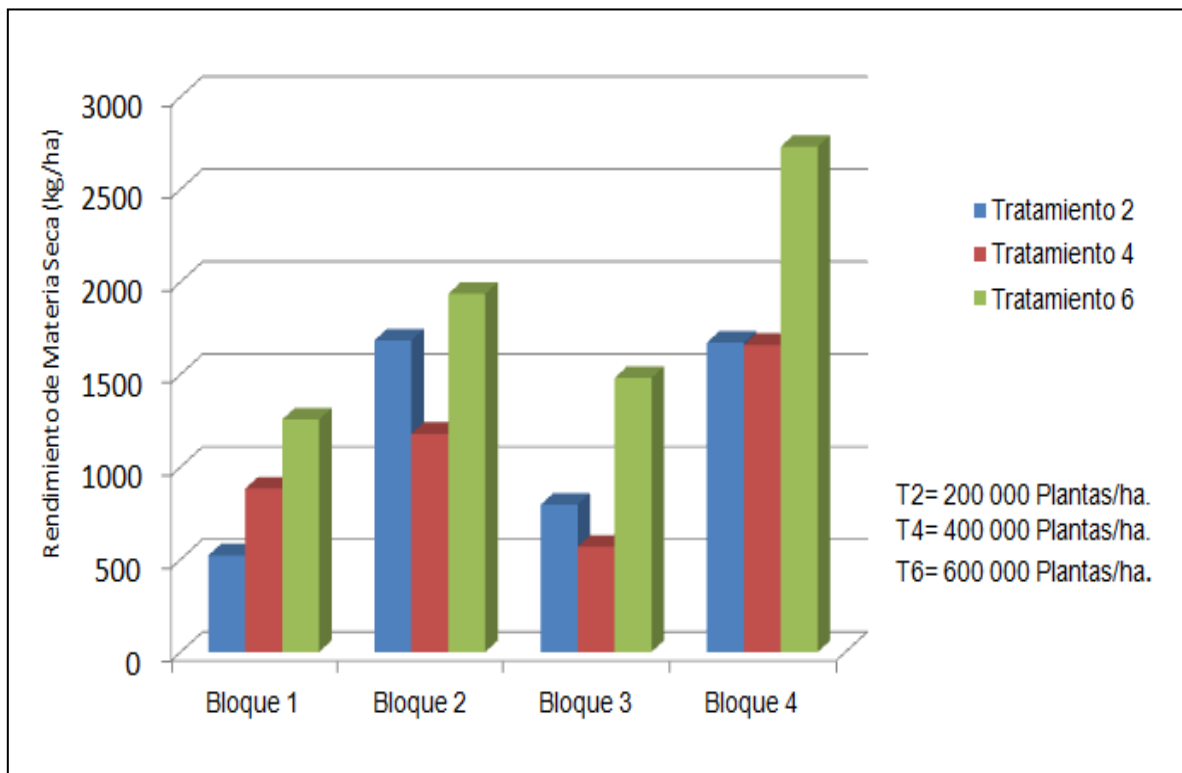
El resultado de la prueba de rango múltiple de Duncan para la comparación de las medias de rendimiento de materia seca entre los tratamientos (densidad de siembra), en la segunda cosecha (Cuadro VIII) indica que el tratamiento de 600 000 Plantas/ha (T6) alcanzó el mayor rendimiento, el cual difiere significativamente

con los tratamientos T2 y T4; mientras que entre los tratamientos de 200 000 plantas/ha (T2) y 400 000 plantas/ha (T4) no se observan diferencias significativas. La media con más bajo rendimiento se obtuvo con la densidad de 400 000 plantas/ha. a diferencia de la primera cosecha que fue la densidad de 200 000 plantas/ha (T2). Biológicamente, la respuesta a esta variación podría estar en la alta tasa de mortalidad de plantas en el tratamiento T4 (superior al tratamiento T2), aunado a esto la competencia entre las plantas (mayor competencia a mayor número de plantas/ha) por radiación solar, agua y nutrientes.

El mayor rendimiento promedio alcanzado se obtuvo en la densidad de 600 000 plantas/ha con 1851 kg de MS/ha y el rendimiento más bajo se registró en la densidad de 400 000 plantas/ha con 1072 kg de MS/ha. Moreno y Samudio (2010) en su investigación reportaron que en la segunda cosecha el mejor rendimiento alcanzado fue de 2275.8 kg de MS/ha en la densidad de siembra más baja (100 000 plantas/ha), mientras que el rendimiento más bajo se registró en la densidad de siembra más alta (500 000 plantas/ha) con 1896 kg de MS/ha. éste último rendimiento es más alto que el mayor rendimiento alcanzado en éste estudio en la segunda cosecha.

Cuadro VIII			
Comparación de medias de rendimiento de materia seca (kg/ha) en la segunda cosecha realizada utilizando la prueba de Duncan			
Tratamientos	N	Media	Agrupación de Duncan Alpha = 0.01
6	4	1851	A
2	4	1168	B
4	4	1072	B

\*medias con la misma letra no presentan diferencias significativas.



**Grafico II. Producción de materia seca (MS) en la segunda cosecha de *Moringa oleífera* Lam. utilizando tres densidades de siembra.**

### 4.1.3 Tercera cosecha

La producción de materia seca por tratamiento y por bloque en la tercera cosecha aparece en el cuadro IX y gráfico III. Los datos correspondientes a la producción de materia verde por tratamiento por bloque y por hectárea, y los porcentajes de materia seca aparecen en el cuadro VIII y IX de anexos.

<b>Cuadro IX</b>					
<b>Rendimiento de materia seca por tratamiento y por bloque en la tercera cosecha</b>					
<b>Tratamientos</b>	<b>Bloque 1</b>	<b>Bloque 2</b>	<b>Bloque 3</b>	<b>Bloque 4</b>	<b><math>\bar{x}</math></b>
Rendimientos (kg/ha)					
<b>T2</b>	547	1134	439	2713	1208
<b>T4</b>	736	1061	653	1900	1087
<b>T6</b>	1216	1526	1778	2557	1769

La diferencia de medias entre los tratamientos (densidades de siembra) en la tercera cosecha no resultó estadísticamente significativa, existiendo mayor variabilidad entre los bloques, los cuales resultaron tener diferencias altamente significativas. (Cuadro X).

El coeficiente de determinación ( $r^2=0.56$ ) y el coeficiente de variación (25.42) demuestran que tanto el ajuste del diseño experimental como el control sobre el error experimental han desmejorado considerablemente en comparación con las dos cosecha anteriores, lo que disminuye la precisión del experimento para detectar diferencias entre tratamientos. En contraste se puede observar que hubo

variabilidad entre bloques, las cuales están asociadas a la heterogeneidad del terreno utilizado en el ensayo.

El desmejoramiento en cuanto al nivel de precisión del ensayo, es muy probable que esté asociado a la heterogeneidad suelo y al ineficiente método de riego utilizado, que si bien es cierto mantuvo el ensayo en la época seca, pero no proporcionó las cantidades óptimas de agua requeridas por el cultivo, y aunque teóricamente no se tienen datos de los requerimientos de agua de la planta, el amarillamiento de las hojas de las primeras 5 a 6 ramas podría estar relacionada con el estrés hídrico.

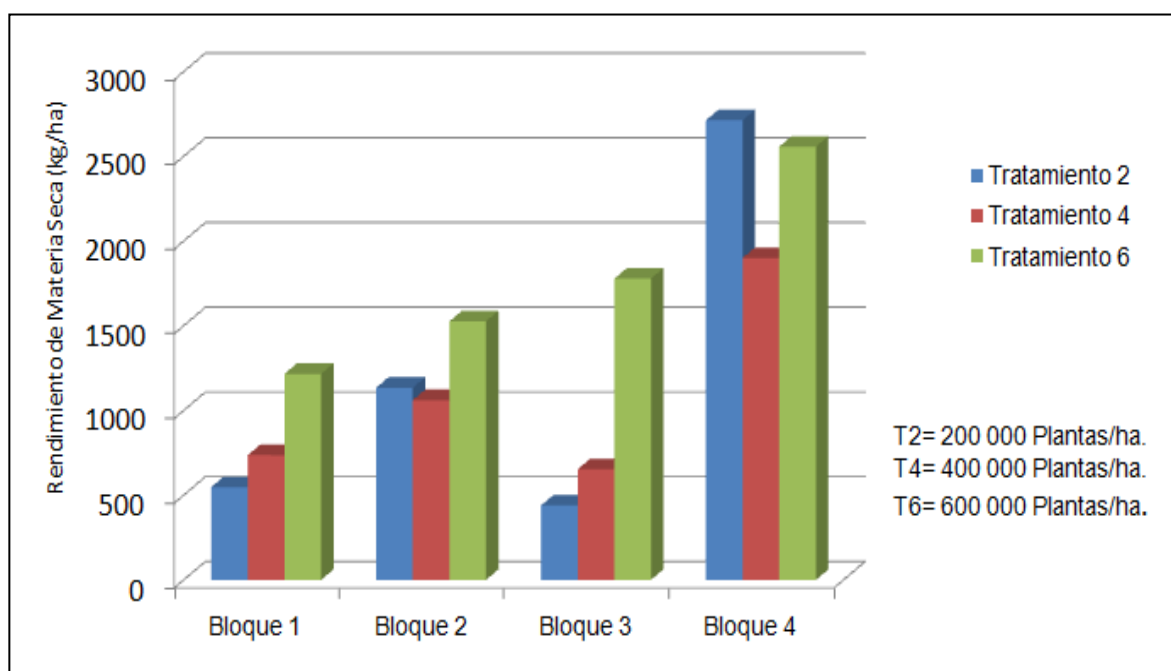
<b>Cuadro X</b>					
<b>Análisis de varianza de los datos de producción de materia seca en la tercera cosecha</b>					
<b>Fuente</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Fc</b>	<b>P</b>
<b>BLOQUE</b>	3	4546580.667	1515526.89	12.784	0.005 **
<b>TRATAMIENTO</b>	2	1058779.50	529389.75	4.466	0.065 <b>N.S</b>
<b>ERROR</b>	6	711285.83	118547.64		
<b>TOTAL</b>	11	6316646.00			

<b>Coefficiente de Determinación (<math>r^2</math>)</b>	0.557
<b>Coefficiente de Variación</b>	25.42 %

**N.S = diferencias no significativas**

**\*\* = diferencias altamente significativas al 1% de probabilidad**

El tratamiento (600 000 plantas/ha) con el mejor rendimiento promedio de materia seca (MS) alcanzó su mayor rendimiento en los bloques 3 y 4 con 2557 y 1778 kg de MS/ha respectivamente. El segundo mejor rendimiento promedio de materia seca obtenido con la densidad de 200 000 plantas/ha, se logro en los bloque 2 y 4 con 1134 y 2713 kg de MS/ha respectivamente. (Gráfico III).



**Gráfico III. Producción de materia seca (MS) en la tercera cosecha de *Moringa oleífera* Lam. utilizando tres densidades de siembra.**

#### 4.1.4 Resultados acumulados de las tres cosechas.

La producción de materia seca por tratamiento y por bloque en la primera cosecha aparece en el cuadro XI y gráfico IV. Los datos correspondientes a la producción de materia verde por tratamiento por bloque y por hectárea, y los porcentajes de materia seca aparecen en el cuadro X de anexos.

<b>Cuadro XI</b>					
<b>Rendimiento de materia seca por tratamiento y por bloque en las tres cosechas realizadas</b>					
<b>Tratamientos</b>	<b>Bloque 1</b>	<b>Bloque 2</b>	<b>Bloque 3</b>	<b>Bloque 4</b>	<b><math>\bar{x}</math></b>
Rendimientos (kg/ha)					
<b>T2</b>	1220	3149	1488	5009	2716
<b>T4</b>	2062	2606	1576	4365	2651
<b>T6</b>	3027	4137	3716	6248	4282

Los resultados del análisis de varianza (cuadro XII) indican que existen diferencias altamente significativas ( $P= 0.002$ ) entre tratamientos y significativa entre bloques ( $P=0.017$ ).

El coeficiente de determinación ( $r^2= 0.78$ ) indica que el ajuste del diseño experimental es aceptable en el ensayo y el coeficiente de variación (12.96%) indica un buen control sobre el error experimental.

<b>Cuadro XII</b>					
<b>Análisis de varianza de los datos de producción de materia seca de las tres cosechas (acumulado).</b>					
<b>Fuente</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Fc</b>	<b>P</b>
<b>BLOQUE</b>	3	1.837E7	6124725.19	35.298	0.017 *
<b>TRATAMIENTO</b>	2	6814671.167	3407335.58	19.637	0.002 **
<b>ERROR</b>	6	1041084.167	173514.03		
<b>TOTAL</b>	11	2.623E7			

<b>Coeficiente de Determinación (<math>r^2</math>)</b>	0.782
<b>Coeficiente de Variación</b>	12.96%

**\* = diferencias significativas al 5% de probabilidad**

**\*\* = diferencias altamente significativas al 1% de probabilidad**

Al comparar las medias de rendimiento de materia seca entre los tratamientos (densidad de siembra), de las tres cosechas empleando la prueba de rango múltiple de Duncan (Cuadro XIII), ésta indica que el tratamiento de 600 000 Plantas/ha (T6) presentó el mejor rendimiento promedio (4282 kg de MS/ha), el cual difiere significativamente con los obtenidos con las densidades de 200 000 plantas/ha (2716 kg de MS/ha) y 400 000 plantas/ha (2651 kg de MS/ha). Mientras que entre los tratamientos de 200 000 plantas/ha (T2) y 400 000 plantas/ ha (T2) estadísticamente no existen diferencias significativas.

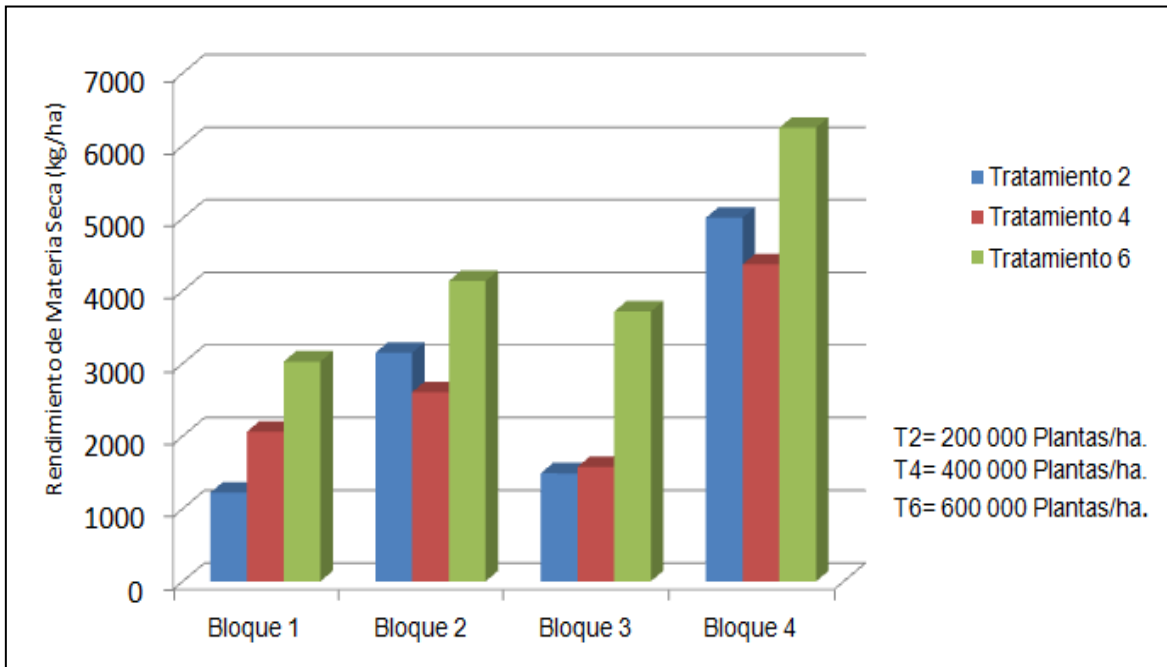
La falta de consistencia de los rendimientos conforme se incrementa la densidad de siembra puede deberse a la heterogeneidad del suelo utilizado en el ensayo y probablemente, a la variación de la disponibilidad de nutrientes, los cuales

afectaron los rendimientos obtenidos en este estudio. En las gráficas relacionadas con la producción de materia seca en kg/ha por tratamiento y por bloque (gráficos I, II, III y IV) se observa claramente que la mayor respuesta se obtuvieron en los bloques 2 y 4.

A pesar de ello las tendencias de rendimientos obtenidos en este ensayo, coinciden con los trabajos publicados por Foidl (2003), y Moreno y Samudio (2010) los cuales encontraron que los rendimientos tienden, a incrementarse conforme aumenta la densidad de siembra por hectárea. Sin embargo los rendimientos alcanzados están por debajo de los obtenidos por estos autores.

<b>Cuadro XIII</b>			
<b>Comparación de medias de rendimiento de materia seca (kg/ha) en las tres cosechas realizadas utilizando la prueba de Duncan</b>			
<b>Tratamientos</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación de Duncan Alpha = 0.01</b>
6	4	4282	A
2	4	2716	B
			B
4	4	2651	B

**\*medias con la misma letra no presentan diferencias significativas.**



**Grafico IV. Producción de materia seca (MS) en las tres cosecha realizadas de *Moringa oleífera Lam.* utilizando tres densidades de siembra.**

#### 4.2 Extracción de nutrientes

Las cantidades de macronutrientes y micronutrientes extraído del suelo por las plantas de *Moringa oleífera Lam*, varió en cada un de los tratamientos a lo largo de las tres cosechas efectuadas. (Cuadro XIV).

<b>Cuadro XIV</b>									
<b>Extracción de macronutrientes y micronutrientes en la biomasa producida por la <i>Moringa oleífera Lam</i> en cada cosecha en las diferentes densidades de siembra utilizadas.</b>									
<b>Macronutrientes</b>	<b>Primera Cosecha</b>			<b>Segunda Cosecha</b>			<b>Tercera Cosecha</b>		
	<b>T2</b>	<b>T4</b>	<b>T6</b>	<b>T2</b>	<b>T4</b>	<b>T6</b>	<b>T2</b>	<b>T4</b>	<b>T6</b>
	<b>Kg/ha</b>								
<b>N</b>	4.15	19.36	24.50	24.76	17.69	18.69	29.60	24.13	49.18
<b>P</b>	1.90	2.31	2.78	1.05	2.89	4.44	2.90	2.28	3.18
<b>K</b>	7.45	5.41	12.31	7.24	11.04	18.14	10.99	12.06	22.29
<b>Ca</b>	13.91	18.10	20.12	13.20	31.09	47.20	25.61	21.85	38.39
<b>Mg</b>	2.35	2.41	1.92	1.40	4.39	7.22	2.66	3.15	5.31
	<b>g/ha</b>								
<b>Mn</b>	17.85	28.78	35.91	28.32	72.89	131.42	80.03	86.69	150.81
<b>Fe</b>	34.85	45.51	52.46	569.11	256.48	949.56	174.56	174.46	326.38
<b>Zn</b>	10.71	9.47	10.92	3.79	11.79	20.82	12.08	12.77	17.25
<b>Cu</b>	2.29	3.57	5.30	0.00	5.09	9.25	8.46	5.16	9.73

En el cuadro XV se muestra la extracción promedio de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) en kg/ha y la extracción promedio de micronutrientes (Mn, Fe, Zn, Cu) en g/ha en las diferentes densidades de siembra empleadas en este estudio.

<b>Cuadro XV</b>			
<b>Extracción total de macronutrientes y micronutrientes por tratamientos.</b>			
<b>Kg/ha</b>			
<b>Macronutrientes</b>	<b>T2</b>	<b>T4</b>	<b>T6</b>
<b>N</b>	58.51	61.18	92.37
<b>P</b>	5.85	7.48	10.40
<b>K</b>	25.68	28.51	52.74
<b>Ca</b>	52.72	71.04	105.71
<b>Mg</b>	6.41	9.95	14.45
<b>g/ha</b>			
<b>Micronutrientes</b>	<b>T2</b>	<b>T4</b>	<b>T6</b>
<b>Mn</b>	126.20	188.36	318.14
<b>Fe</b>	778.52	476.45	1328.40
<b>Zn</b>	26.58	34.03	48.99
<b>Cu</b>	10.75	13.82	24.28

### **Macronutrientes**

**Nitrógeno (N):** La extracción de nitrógeno fue más alto en el tratamiento T6 (600 000 plantas/ha) con 92.37 kg de N/ha, mientras el valor más bajo se obtuvo en el tratamiento T2 (200 000 plantas/ha) con 58.51 kg/ha de N extraído.

**Fosforo (P):** La cantidad de fosforo extraído varió desde 5.85 kg de P/ha en el tratamiento con la menor densidad de plantas/ha (200 000 plantas/ha) a 10.40 kg de P/ha en el tratamiento con la densidad más alta (600 000 plantas/ha).

**Potasio (K):** El rango de extracción de potasio fluctuó de 25.68 kg de K/ha en el tratamiento T2 (200 000 plantas/ha) a 52.74 kg/ha de K extraído en el tratamiento T6 (600 000 plantas/ha).

**Calcio (Ca):** La extracción de calcio registrada en este estudio varió desde 52.72 kg de Ca/ha en el tratamiento (T2) de menor densidad de siembra (200 000 plantas/ha.) a 105.71 kg de Ca/ha en el tratamiento T6 (600 000 plantas/ha), el cual corresponde a la densidad de siembra más alta.

**Magnesio (Mg):** En el tratamiento T2 (200 000 plantas/ha) la extracción de magnesio fue de 6.41 kg de Mg/ha; mientras que el tratamiento T6 (600 000 plantas/ha) la extracción de magnesio fue de 14.45 kg de Mg/ha.

### **Micronutrientes**

**Manganeso (Mn):** El rango de extracción de manganeso fue de 126.20 g de Mn/ha en la densidad de 200 000 plantas/ha a 318.14 g de Mn/ha en la densidad de 600 000 plantas/ha.

**Hierro (Fe):** Las cantidades de hierro extraído van de 476.45 g de Fe/ha en el tratamiento T4 (400 000 plantas/ha) a 1328.40 g de Fe/ha en el tratamiento T6 (600 000 plantas/ha).

**Zinc (Zn):** En el tratamiento T2 (200 000 plantas/ha) se obtuvo una extracción de 26.58 g/ha de zinc. Por otro lado en el tratamiento T6 (600 000 plantas/ha) la extracción de zinc fue de 48.99 g de Zn/ha.

**Cobre (Cu):** La extracción de cobre en el tratamiento T2 (200 000 plantas/ha) fue de 10.75 g de Cu/ha y llegó hasta 24.28 g/ha de Cu extraído en el tratamiento T6 (600 000 plantas/ha).

La extracción de los macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) tendió a incrementarse conforme aumentó la densidad de plantas por hectárea. El nitrógeno (N), potasio (K), y calcio (Ca) fueron los nutrientes extraídos en mayores cantidades mientras que el fósforo (P) y el magnesio (Mg) fueron extraídos en menores cantidades. La extracción de N, K, Ca en las parcelas en las que se establecieron 600 000 plantas/ha. fue de 92.37, 52.74, 105.71 kg/ha, respectivamente, mientras que la extracción de P y Mg en esta misma densidad fue de 10.40 y 14.45 kg/ha, respectivamente.

La extracción de micronutrientes (Mn, Fe, Zn, Cu) también tendió a incrementarse conforme aumentó el número de plantas por hectárea. El manganeso (Mn) y el hierro (Fe) fueron los micronutrientes extraídos en mayores cantidades, mientras que el zinc (Zn) y el cobre (Cu) fueron extraídos en menores cantidades. La extracción de Mn y Fe en las parcelas con densidades de 600 000 plantas por hectárea fue de 318.14 y 1328.40 g/ha, respectivamente, mientras que la extracción de Zn y Cu en las parcelas con esta misma densidad de siembra fue de 48.99 y 24.28 g/ha, respectivamente.

### 4.3 Mortalidad y Supervivencia de plantas

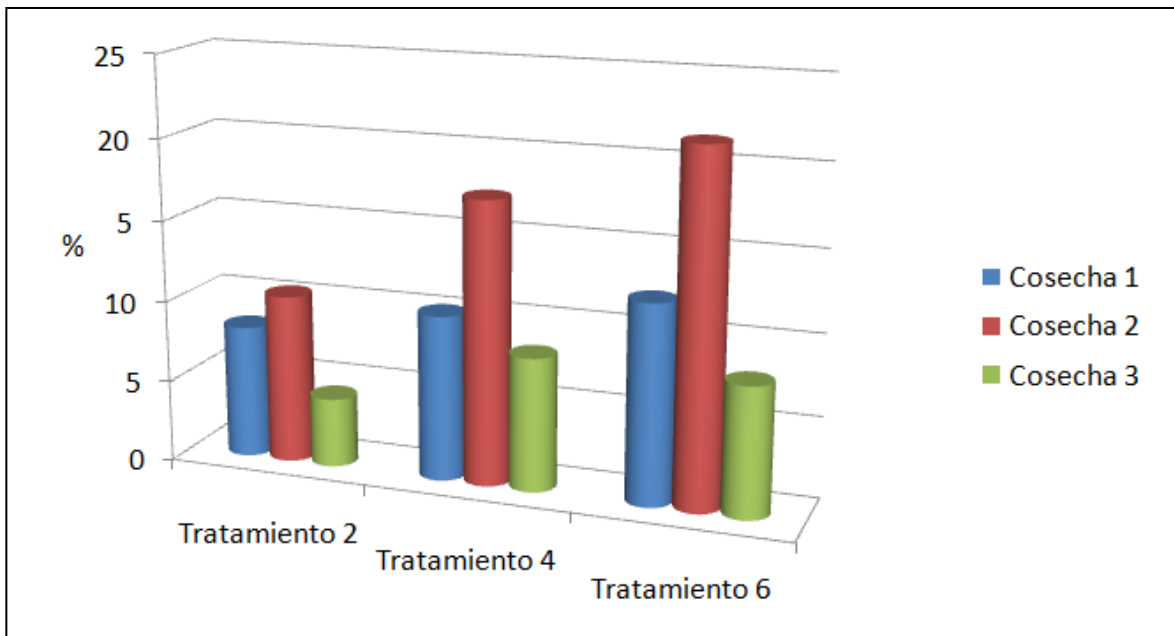
#### 4.3.1 Tasa de mortalidad y supervivencia de plantas durante el ensayo

La tasa de mortalidad en cada una de las cosechas se incrementó conforme aumentó el número de plantas de *Moringa oleífera Lam* por hectáreas. (Cuadro XVI).

<b>Cuadro XVI</b>				
<b>Tasa de mortalidad por tratamiento y por cosecha</b>				
<b>Tratamiento</b>	<b>Cosecha 1</b>	<b>Cosecha 2</b>	<b>Cosecha 3</b>	<b>Total</b>
%				
<b>T2</b>	8.19	10.39	4.25	22.83
<b>T4</b>	10.16	17.36	8.20	35.72
<b>T6</b>	12.21	21.44	7.97	41.62

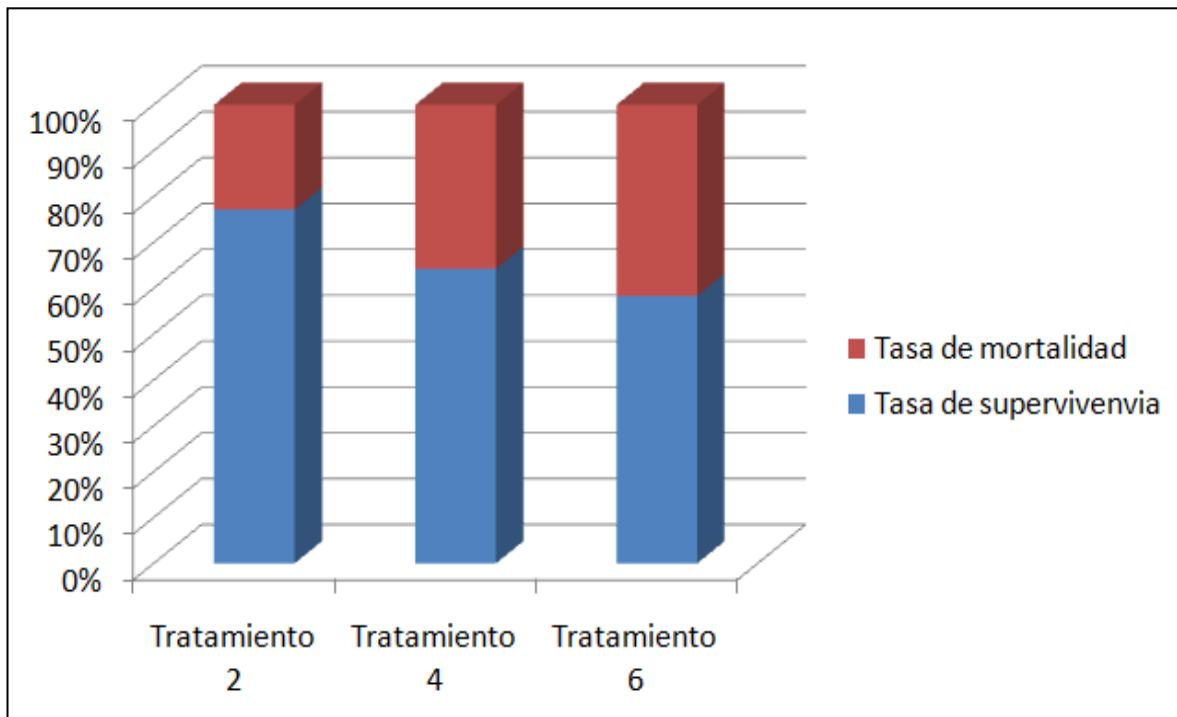
También el gráfico V muestra la tasa de mortalidad de las plantas por tratamiento en cada una de las cosechas efectuadas durante el experimento en campo. En el tratamiento T2 (200 000 plantas/ha) la mortalidad de plantas fue la más baja, seguido por los tratamientos T4 (400 000 plantas/ha) y T6 (600 000 plantas/ha); siendo este último el de mayor mortalidad de plantas registrada durante el ensayo. Esta tendencia de mayor mortalidad, conforme aumentó la densidad de plantas/ha, pudo deberse a la competencia (por luz, agua, y nutrientes) entre plantas que obviamente es mayor en densidades más altas.

En este mismo grafico, se puede observar que la tasa de mortalidad (postcosecha) de los tratamientos fue diferente en cada una de las tres cosechas efectuadas. La mayor tasa de mortalidad se registró posterior a la segunda cosecha, mientras que después de la tercera cosecha se obtuvieron los valores más bajos de mortalidad de plantas. Esto puede deberse al déficit de agua, que se hizo aún más crítico después del segundo corte, lo cual provocó que las plantas más débiles con raíces menos profundas sucumbieran, mientras que se redujo la tasa de mortalidad en la tercera cosecha debido al advenimiento de las lluvias.



**Grafico V. Tasa de mortalidad de plantas de moringa por tratamiento posterior en cada una de las cosechas efectuadas.**

La tasa de mortalidad de plantas y por ende la de supervivencia, varió en los diferentes tratamientos de densidad de siembra (gráfico VI). En el tratamiento T2 (200 000 plantas/ha) la tasa de supervivencia fue de 77.17%, en el tratamiento T4 (400 000 plantas/ha) fue de 64.28% y en el tratamiento T6 (600 000 plantas/ha) la tasa de fue de 58.38%. En Nicaragua, Foidl (2003) encontró que la tasa de mortalidad en parcelas con densidad de siembra de 1000 000 de plantas por hectárea fue de 30%, un valor más bajo que el obtenido en este estudio con densidades de siembra menores.



**Gráfico VI. Tasa de mortalidad y supervivencia de plantas durante el ensayo.**

### 4.3.2 Plantas vivas posteriores a las tres cosechas

El número de plantas vivas (media) por tratamiento y bloques, y la tasa de supervivencia y mortalidad posterior a las tres cosechas efectuadas en el ensayo, aparecen en el cuadro XVII. Los datos de plantas vivas registradas por hilera y tratamiento en cada uno de los bloques, posterior a la primera, segunda y tercera cosecha aparecen en anexos en los cuadros XI, XIII, y XV respectivamente.

<b>Cuadro XVII</b>						
<b>Media de plantas vivas por tratamiento y por bloque, y tasa de supervivencia y mortalidad posterior a las tres cosechas efectuadas</b>						
<b>Tratamiento</b>	<b>Bloque 1</b>	<b>Bloque 2</b>	<b>Bloque 3</b>	<b>Bloque 4</b>	<b>Tasa de supervivencia</b>	<b>Tasa de mortalidad</b>
Promedio de plantas vivas					%	
<b>T2</b>	56.25	54.75	55.50	55.75	77.17	22.83
<b>T4</b>	93.50	94.50	92.00	90.25	64.28	35.72
<b>T6</b>	123.50	125.75	129.00	124.75	58.38	41.62

<b>T2 = 72 Plantas/Hilera = 200,000 Plantas/Ha</b>
<b>T4 = 144 Plantas/Hilera = 400,000 Plantas/Ha</b>
<b>T6 = 216 Plantas/Hilera = 600,000 Plantas/Ha</b>

El cuadro XVII muestra, además, que la media de las cantidades de plantas vivas por tratamiento, está muy por debajo de la media original contemplada al inicio del ensayo y también, que el número de plantas muertas en el ensayo tendió a incrementar conforme aumentó la densidad de siembra. En las parcelas con densidades de 200 000 plantas por hectárea el número de plantas se redujo en 22.83%, mientras que en las parcelas con densidades de siembra de 400 000

plantas por hectárea y 600 000 plantas por hectárea la tasa promedio de mortalidad fue de 35.72 y 41.62 por ciento, respectivamente.

Esto se debe a que la competencia por luz, agua y nutrientes entre plantas fue más agresiva a medida que se incrementó la densidad de siembra. Es muy probable que el ineficiente método de riego y la falta de adecuada humedad contribuyeran a la mortalidad de plantas.

A continuación se muestran el número de plantas por hectárea que sobrevivieron y aquellas que murieron en las diferentes densidades en éste ensayo.

- ❖ **Densidad de 200 000 plantas/ha:** El número de plantas que sobrevivieron en esta densidad fue de 154 340 plantas/ha y en número de plantas muertas fue de 45660 plantas/ha.
- ❖ **Densidad de 400 000 plantas/ha:** El número de plantas que sobrevivieron en esta densidad fue de 257 120 plantas/ha y en número de plantas muertas fue de 142 880 plantas/ha.
- ❖ **Densidad de 600 000 plantas/ha:** El número de plantas que sobrevivieron en esta densidad fue de 350 280 plantas/ha y en número de plantas muertas fue de 249 720 plantas/ha.

## 5.0 CONCLUSIONES

- La producción de biomasa en la especie *Moringa oleífera Lam* fue afectada por la densidad a la que fue sembrada. La producción de biomasa tendió a aumentar conforme se incrementó el número de plantas/ha.
- La mayor producción de biomasa, tanto materia verde como materia seca se obtuvieron en la densidad de siembra 600 000 plantas/ha (T6), alcanzando producciones de 25117 y 4282 kg/ha, respectivamente.
- La extracción de macronutrientes tales como el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), tendió a aumentar conforme se incrementó la cantidad de plantas por hectárea.
- La extracción de micronutrientes tales como el manganeso (Mn), hierro (Fe), zinc (Zn) y cobre (Cu) tendió a aumentar conforme se incrementó la cantidad de plantas por hectárea.
- La tasa de mortalidad de plantas tendió a aumentar al incrementarse la densidad de siembra.

- Es muy probable que el ineficiente método de riego contribuyera con la alta tasa de mortalidad registrada en el ensayo y, el estrés hídrico, junto a la heterogeneidad del suelo en cuanto a la variabilidad en la disponibilidad de nutrientes afectaron la producción de biomasa y por ende la extracción de nutrientes del suelo por parte de la plantas en este ensayo.

## 7.0 RECOMENDACIONES

- Continuar ensayando con esta especie, aumentando la densidad de siembra ya que los resultados obtenidos en este estudio indican que se puede lograr mayores rendimientos.
  
- Evitar el establecimiento de estos ensayos en la postrimería de la estación lluviosa si no se cuenta con un sistema de riego que suministre agua en cantidad adecuada durante la estación seca.
  
- Evaluar el ensayo durante varios años para determinar la capacidad potencial de producción anual de biomasa de la moringa y sus requerimientos de macro y micronutrientes.
  
- Realizar ensayos con esta especie en otras zonas de vida del país, para determinar el efecto del clima y otras condiciones edáficas en los rendimientos de biomasa de esta especie y, de sus requerimientos de nutrientes.
  
- Para futuras investigaciones, seleccionar sitios para realizar este trabajo de investigación en los que haya menor grado de heterogeneidad del suelo a fin de lograr mayor grado de precisión del impacto que causa las diferentes densidades de siembra de la moringa en la producción de biomasa.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7.1 Agrodesierto. **Programas Agroforestales. Moringa; *Moringa oleífera***. (En línea) Consultado el 16 de marzo de 2011. Disponible en <http://www.agrodesierto.com/moringa.htm>

7.2 Andreas. F. (2010). **Situación actual y perspectivas petroleras 2011**. Boletín económico mensual mercantil. Caracas, Venezuela. 20 p.

7.3 Aranda A. 2004. **Viabilidad de la semilla de *moringa oleífera Lam* conservada bajo dos métodos de almacenamiento y dos contenidos de humedad**. Tesis Lic. Ing. Agrónomo. David, Chiriquí. Facultad de Ciencias Agropecuaria. 46 p.

7.4 Almengor. R. 2010. **Biología de la medición de la *Moringa oleífera Lam* cultivado en alta densidad para la obtención de proteína**. Tesis Lic. Ing. En Manejo ambiental. David, Chiriquí. Facultad de Ciencias Agropecuaria. 68 p.

7.5 Barbosa. L; Maza, T. 2010. **Aceite de *moringa oleífera Lam* y su potencialidad como materia prima en biocombustibles**. (en línea). Consultado el 23 de mayo de 2011. Disponible en <http://moringaoleifera.wordpress.com/2010/10/24/aceite-de-moringa-oleifera-y-su-potencialidad-como-materia-prima-en-biocombustibles/>.

7.6 CEIACHI, 2007. **Elementos climáticos mensuales del Centro de Estudios e Investigaciones agropecuarias de Chiriquí**. (1984-2006). Registro del historial climático del CEIACHI. David, Chiriquí. Facultad de Ciencias Agropecuarias, UP. 95 p.

**7.7** Chaize T. 2005. **Evolución del precio del barril de petróleo desde hace un siglo.** (en línea). Consultado el 12 de marzo de 2011. Disponible en <http://www.dani2989.com/matiere1/preciopetroleo.htm>

**7.8** Foidl N; Mayorga L; Vásquez W. 1999. **Utilización del marango (*Moringa oleífera Lam*) como forraje fresco para ganado.** En: **Agroforestería para la alimentación animal en Latinoamérica.** Estudio FAO: Producción y Sanidad Animal. Managua, Nicaragua. No. 143.

**7.9** Foidl N. 2003. **Utilización del marango (*Moringa oleífera Lam*) como forraje para ganado.** Proyecto Biomasa. Managua, Nicaragua. 5 p.

**7.10** Fugliee, L. 2000. **Se estudian nuevos usos del marango en Nicaragua.** (en línea) Consultado el 23 de mayo de 2011. Disponible en. <http://www.echotech.org/network>.

**7.11** Geilfus, F. 1990. **El árbol al servicio del agricultor.** Manual de agroforestería para el desarrollo rural. Tomo II. ENDO-CARIBE-CATIE, Santo Domingo, República Dominicana. 657 p.

**7.12** Kart, D. 1996. **Una guía para los arboles de uso múltiple.** (en línea). Hawaii, USA. Consultado el 4 de mayo de 2010. Disponible en: [www.winrock.org/foresty/factnet.htm](http://www.winrock.org/foresty/factnet.htm)

**7.13** Mayorga L. 2007. **Memoria del Primer Foro Taller Internacional de Agroenergía y Recursos Naturales Al Servicio De La Humanidad.** Facultad De Ciencias Agropecuarias. Universidad de Panamá.

**7.14** Montoya, G. 2011. **Crisis en Medio Oriente y Norte de África: inflación y desaceleración económica a la vista.** (en línea) Consultado 24 de abril de 2011. Disponible en. <http://www.elcolombiano.com/crisisenmediorienteynortedeafrika:inflaciónydesaceleracióneconómicaalavista.mht>.

**7.15** Moringafarms. 2002. **Historia de la Moringa oleífera.** (en línea). Consultado el 4 de mayo de 2010. Disponible en: [www.moringafarms.com/history](http://www.moringafarms.com/history)

**7.16** Laude J. 2004. **Efecto del concentrado del rebrote de las hojas de la *Moringa oleifera Lam* en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*).** Tesis. Lic. Ing. Agr. con orientación en producción agrícola. David, Chiriquí. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 59 p

**7.17** López L. 2004. **Estudio comparativo de cuatro concentraciones de las semillas de *Moringa oleifera Lam* para clarificar las aguas en la planta potabilizadora del Instituto de Acueductos y Alcantarillados (IDAAN) estación de Algarrobos, Provincia de Chiriquí.** Tesis. Lic. Ing Agr. con orientación en manejo de cuencas hidrográficas. David, Chiriquí. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 135 p.

**7.18** Parrotta, J. 2002. **Reseda, árbol de rábano.** (en línea) Consultado el 13 de mayo de 2011. Disponible en. [www.puertorico.com/español/assets/árbol/pdf/moringaoleifera.pdf](http://www.puertorico.com/español/assets/árbol/pdf/moringaoleifera.pdf).

**7.19** Price, M.L. 2000. **The Moringa tree. Educational Concerns for Hunger Organization (ECHO).** (en línea) Consultado el 22 de mayo de 2011. Disponible en. <http://www.echotech.org/technical/technotes/moringabiomasa.pdf>.

**7.20** Moreno, B. Samudio R. 2010. **“Evaluación de tres densidades de siembra de moringa (*Moringa oleífera Lam*), en la extracción de nutrientes y la producción de biomasa como materia prima para la obtención de biocombustibles”** Tesis. Lic. Ing. en Manejo de cuencas y Ambiente. David, Chiriquí. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Panamá. 102 páginas.

**7.21** Sánchez N. 2004. **Marango: Cultivo y Utilización en la Alimentación Animal.** Universidad Nacional Agraria. Nicaragua. 24 páginas (Guía Técnica N°5).

**7.22** Sinfuentes G. 2010. Biocombustibles de Segunda Generación. Revista Muy Interesante 27(12): 96-102. México.

## 8.0 ANEXOS

ANEXOS

**Cuadro I**  
**Rendimientos de materia verde (kg/tratamiento/parcela)**

<b>Datos de Campo – Primera cosecha.</b>							
<b>Tratamientos</b>	<b>Área m2</b>	<b>Lbs.</b>	<b>Kg</b>	<b>Oz.</b>	<b>Kg</b>	<b>*Cant. Bolsas negras</b>	<b>Total (Kg)</b>
<b>Bloque 1</b>							
<b>T2</b>	14.4	3	1.36	0	0	1	1.29
<b>T4</b>	14.4	9	4.08	10	0.28	1	4.29
<b>T6</b>	14.4	11	4.99	8	0.23	1	5.15
<b>Bloque 2</b>							
<b>T2</b>	14.4	7	3.18	0	0	1	3.11
<b>T4</b>	14.4	7	3.18	12	0.34	1	3.45
<b>T6</b>	14.4	14	6.35	8	0.23	1	6.51
<b>Bloque 3</b>							
<b>T2</b>	14.4	4	1.81	12	0.34	1	2.08
<b>T4</b>	14.4	6	2.72	8	0.23	1	2.88
<b>T6</b>	14.4	8	3.63	14	0.39	1	3.95
<b>Bloque 4</b>							
<b>T2</b>	14.4	14	6.35	0	0	1	6.28
<b>T4</b>	14.4	17	7.71	3	0.08	1	7.72
<b>T6</b>	14.4	20	9.07	12	0.34	1	9.34

\*Peso de cada bolsa = 0.0703 kg

<b>Cuadro II</b>					
<b>Rendimiento de materia verde por tratamiento y bloque en la primera cosecha.</b>					
<b>Tratamiento</b>	<b>Bloque 1</b>	<b>Bloque 2</b>	<b>Bloque 3</b>	<b>Bloque 4</b>	<b><math>\bar{x}</math></b>
<b>Rendimiento (kg/ha)</b>					
<b>T2</b>	896	2160	1444	4361	2215
<b>T4</b>	2979	2396	2000	5361	3184
<b>T6</b>	3576	4521	2743	6486	4331

<b>T2 = 200,000 Plantas/ Ha</b>
<b>T4 = 400,000 Plantas/ Ha</b>
<b>T6 = 600,000 Plantas/ Ha</b>

**Cuadro III**  
**Porcentaje de materia seca en las muestras de plantas por bloque y por tratamiento en la primera cosecha.**

<b>Materia Seca B1</b>						
<b>Tratamiento</b>	<b>Peso de la bolsa (g)</b>	<b>Peso Húmedo (g)</b>	<b>Peso húmedo corregido (g)</b>	<b>Peso Seco (g)</b>	<b>Peso Seco Corregido (g)</b>	<b>% materia seca</b>
<b>T2</b>	10.5	260.71	250.21	52.59	42.09	16.82
<b>T4</b>	10.5	263.10	252.60	48.07	37.57	14.87
<b>T6</b>	10.5	261.71	251.21	49.48	38.98	15.52
<b>Materia Seca B2</b>						
<b>Tratamiento</b>	<b>Peso de la bolsa (g)</b>	<b>Peso Húmedo (g)</b>	<b>Peso húmedo corregido (g)</b>	<b>Peso Seco (g)</b>	<b>Peso Seco Corregido (g)</b>	<b>% materia seca</b>
<b>T2</b>	10.5	259.82	249.32	48.76	38.26	15.34
<b>T4</b>	10.5	259.00	248.50	48.42	37.92	15.26
<b>T6</b>	10.5	260.74	250.24	47.90	37.40	14.94
<b>Materia Seca B3</b>						
<b>Tratamiento</b>	<b>Peso de la bolsa (g)</b>	<b>Peso Húmedo (g)</b>	<b>Peso húmedo corregido (g)</b>	<b>Peso Seco (g)</b>	<b>Peso Seco Corregido (g)</b>	<b>% materia seca</b>
<b>T2</b>	10.5	261.38	250.88	54.52	44.02	17.55
<b>T4</b>	10.5	261.56	251.06	55.03	44.53	17.74
<b>T6</b>	10.5	264.68	254.18	52.87	42.37	16.67
<b>Materia Seca B4</b>						
<b>Tratamiento</b>	<b>Peso de la bolsa (g)</b>	<b>Peso Húmedo (g)</b>	<b>Peso húmedo corregido (g)</b>	<b>Peso Seco (g)</b>	<b>Peso Seco Corregido (g)</b>	<b>% materia seca</b>
<b>T2</b>	10.5	265.82	255.32	47.01	36.51	14.30
<b>T4</b>	10.5	262.41	251.91	48.39	37.89	15.04
<b>T6</b>	10.5	258.55	248.05	47.21	36.71	14.80

**Cuadro IV**  
**Rendimientos de materia verde (kg/tratamiento/parcela)**

<b>Datos de Campo – Segunda cosecha.</b>							
<b>Tratamientos</b>	<b>Área m2</b>	<b>Lbs.</b>	<b>Kg</b>	<b>Oz.</b>	<b>Kg</b>	<b>*Cant. Bolsas negras</b>	<b>Total (Kg)</b>
<b>Bloque 1</b>							
<b>T2</b>	12	7	3.17	2	0.06	1	3.16
<b>T4</b>	12	11	4.99	4	0.11	1	5.03
<b>T6</b>	12	17	7.23	2	0.06	1	7.22
<b>Bloque 2</b>							
<b>T2</b>	12	24	10.91	8	0.23	1	11.07
<b>T4</b>	6	8	3.63	12	0.34	1	3.90
<b>T6</b>	12	26	11.82	8	0.23	1	11.98
<b>Bloque 3</b>							
<b>T2</b>	12	10	4.54	8	0.23	1	4.70
<b>T4</b>	12	7	3.17	4	0.11	1	3.21
<b>T6</b>	6	9	4.10	12	0.34	1	4.37
<b>Bloque 4</b>							
<b>T2</b>	12	25	11.36	4	0.11	1	11.40
<b>T4</b>	12	24	10.88	2	0.06	1	10.87
<b>T6</b>	12	41	18.64	4	0.11	2	18.61

\*Peso de cada bolsa = 0.0703 kg

**Cuadro V**  
**Rendimiento de materia verde por tratamiento y bloque en la segunda cosecha.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Bloque 1</b>	<b>Bloque 2</b>	<b>Bloque 3</b>	<b>Bloque 4</b>	<b><math>\bar{X}</math></b>
<b>Rendimiento (kg/ha)</b>					
<b>T2</b>	2633	9225	3917	9500	6319
<b>T4</b>	4192	6500	2675	9058	5606
<b>T6</b>	6017	9983	7283	15508	9698

**T2 = 200,000 Plantas/ Ha**

**T4 = 400,000 Plantas/ Ha**

**T6 = 600,000 Plantas/ Ha**

**Cuadro VI**  
**Porcentaje de materia seca en las muestras de plantas por bloque y por tratamiento en la segunda cosecha.**

<b>Materia Seca B1</b>						
<b>Tratamiento</b>	<b>Peso de la bolsa (g)</b>	<b>Peso Húmedo (g)</b>	<b>Peso húmedo corregido (g)</b>	<b>Peso Seco (g)</b>	<b>Peso Seco Corregido (g)</b>	<b>% materia seca</b>
<b>T2</b>	10.5	344.30	333.80	76.72	66.22	19.84
<b>T4</b>	10.5	333.52	323.02	78.56	68.06	21.07
<b>T6</b>	10.5	307.98	297.48	72.59	62.09	20.87
<b>Materia Seca B2</b>						
<b>Tratamiento</b>	<b>Peso de la bolsa (g)</b>	<b>Peso Húmedo (g)</b>	<b>Peso húmedo corregido (g)</b>	<b>Peso Seco (g)</b>	<b>Peso Seco Corregido (g)</b>	<b>% materia seca</b>
<b>T2</b>	10.5	318.67	308.17	66.78	56.28	18.26
<b>T4</b>	10.5	318.40	307.90	66.36	55.86	18.14
<b>T6</b>	10.5	303.46	292.96	67.32	56.82	19.39
<b>Materia Seca B3</b>						
<b>Tratamiento</b>	<b>Peso de la bolsa (g)</b>	<b>Peso Húmedo (g)</b>		<b>Peso Seco (g)</b>	<b>Peso Seco Corregido (g)</b>	<b>% materia seca</b>
<b>T2</b>	10.5	306.26	295.76	70.64	60.14	20.33
<b>T4</b>	10.5	324.81	314.31	77.31	66.81	21.25
<b>T6</b>	10.5	290.44	279.94	67.42	56.92	20.33
<b>Materia Seca B4</b>						
<b>Tratamiento</b>	<b>Peso de la bolsa (g)</b>	<b>Peso Húmedo (g)</b>	<b>Peso húmedo corregido (g)</b>	<b>Peso Seco (g)</b>	<b>Peso Seco Corregido (g)</b>	<b>% materia seca</b>
<b>T2</b>	10.5	339.86	329.36	68.47	57.97	17.60
<b>T4</b>	10.5	361.98	351.48	74.88	64.38	18.32
<b>T6</b>	10.5	350.39	339.89	70.34	59.84	17.61

**Cuadro VII**

**Rendimientos de materia verde (kg/tratamiento/parcela)**

<b>Datos de Campo – Tercera cosecha.</b>							
<b>Tratamientos</b>	<b>Área m2</b>	<b>Lbs.</b>	<b>Kg</b>	<b>Oz.</b>	<b>Kg</b>	<b>*Cant. Bolsas negras</b>	<b>Total (Kg)</b>
<b>Bloque 1</b>							
<b>T2</b>	12	8	3.64	13	0.37	1	3.94
<b>T4</b>	12	11	5	12	0.34	1	5.28
<b>T6</b>	12	19	8.64	12	0.34	1	8.91
<b>Bloque 2</b>							
<b>T2</b>	12	18	8.18	12	0.34	1	8.45
<b>T4</b>	6	8	3.64	10	0.28	1	3.85
<b>T6</b>	12	26	11.82	12	0.34	2	12.02
<b>Bloque 3</b>							
<b>T2</b>	9	5	2.27	10	0.28	1	2.48
<b>T4</b>	9	8	3.64	6	0.17	1	3.74
<b>T6</b>	6	14	6.36	13	0.37	1	6.66
<b>Bloque 4</b>							
<b>T2</b>	12	47	21.36	12	0.34	2	21.56
<b>T4</b>	12	31	14.09	4	0.11	2	14.06
<b>T6</b>	12	42	19.09	11	0.31	2	19.26

\*Peso de cada bolsa = 0.0703 kg

**Cuadro VIII**

**Rendimiento de materia verde por tratamiento y bloque en la tercera cosecha.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Bloque 1</b>	<b>Bloque 2</b>	<b>Bloque 3</b>	<b>Bloque 4</b>	<b><math>\bar{X}</math></b>
<b>Rendimiento (kg/ha)</b>					
<b>T2</b>	3283	7042	2755	17967	7935
<b>T4</b>	4400	6417	4155	11717	6672
<b>T6</b>	7425	10017	11100	16050	9266

**T2 = 200,000 Plantas/ Ha**

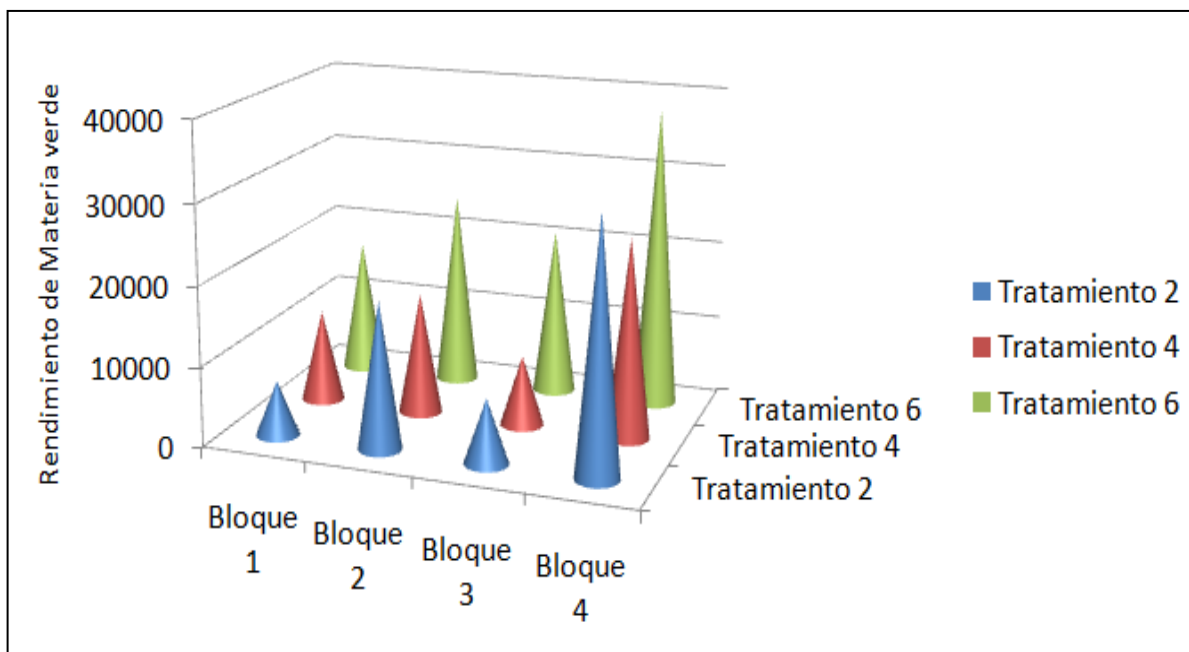
**T4 = 400,000 Plantas/ Ha**

**T6 = 600,000 Plantas/ Ha**

**Cuadro IX**  
**Porcentaje de materia seca en las muestras de plantas por bloque y por tratamiento en la tercera cosecha.**

<b>Materia Seca B1</b>						
<b>Tratamiento</b>	<b>Peso de la bolsa (g)</b>	<b>Peso Húmedo (g)</b>	<b>Peso húmedo corregido (g)</b>	<b>Peso Seco (g)</b>	<b>Peso Seco Corregido (g)</b>	<b>% materia seca</b>
<b>T2</b>	10.5	195.93	185.43	41.38	30.88	16.65
<b>T4</b>	10.5	198.55	188.05	41.94	31.44	16.72
<b>T6</b>	10.5	175.84	165.34	37.58	27.08	16.38
<b>Materia Seca B2</b>						
<b>Tratamiento</b>	<b>Peso de la bolsa (g)</b>	<b>Peso Húmedo (g)</b>	<b>Peso húmedo corregido (g)</b>	<b>Peso Seco (g)</b>	<b>Peso Seco Corregido (g)</b>	<b>% materia seca</b>
<b>T2</b>	10.5	197.03	186.53	40.50	30.00	16.10
<b>T4</b>	10.5	186.98	176.48	39.67	29.17	16.53
<b>T6</b>	10.5	190.01	179.51	37.85	27.35	15.23
<b>Materia Seca B3</b>						
<b>Tratamiento</b>	<b>Peso de la bolsa (g)</b>	<b>Peso Húmedo (g)</b>	<b>Peso húmedo corregido (g)</b>	<b>Peso Seco (g)</b>	<b>Peso Seco Corregido (g)</b>	<b>% materia seca</b>
<b>T2</b>	10.5	195.65	185.15	39.99	29.49	15.93
<b>T4</b>	10.5	181.13	170.63	37.30	26.80	15.71
<b>T6</b>	10.5	196.99	186.49	40.39	29.89	16.02
<b>Materia Seca B4</b>						
<b>Tratamiento</b>	<b>Peso de la bolsa (g)</b>	<b>Peso Húmedo (g)</b>	<b>Peso húmedo corregido (g)</b>	<b>Peso Seco (g)</b>	<b>Peso Seco Corregido (g)</b>	<b>% materia seca</b>
<b>T2</b>	10.5	182.32	171.82	36.43	25.93	15.10
<b>T4</b>	10.5	198.65	188.15	41.02	30.52	16.22
<b>T6</b>	10.5	194.97	184.47	39.89	29.39	15.93

Cuadro X					
Rendimiento de materia verde por tratamiento y por bloque de las tres cosechas realizadas.					
Tratamientos	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	$\bar{x}$
Rendimientos (kg/ha)					
T2	6812	18427	8116	31828	16296
T4	11571	15313	8830	25130	15211
T6	17018	24521	21126	38044	25177



**Grafico I. Producción de materia verde en las tres cosecha realizadas de *Moringa oleífera Lam.* utilizando tres densidades de siembra.**

**Cuadro XI**

**Plantas vivas registradas por hilera, por tratamiento, y por bloque posterior a la primera cosecha.**

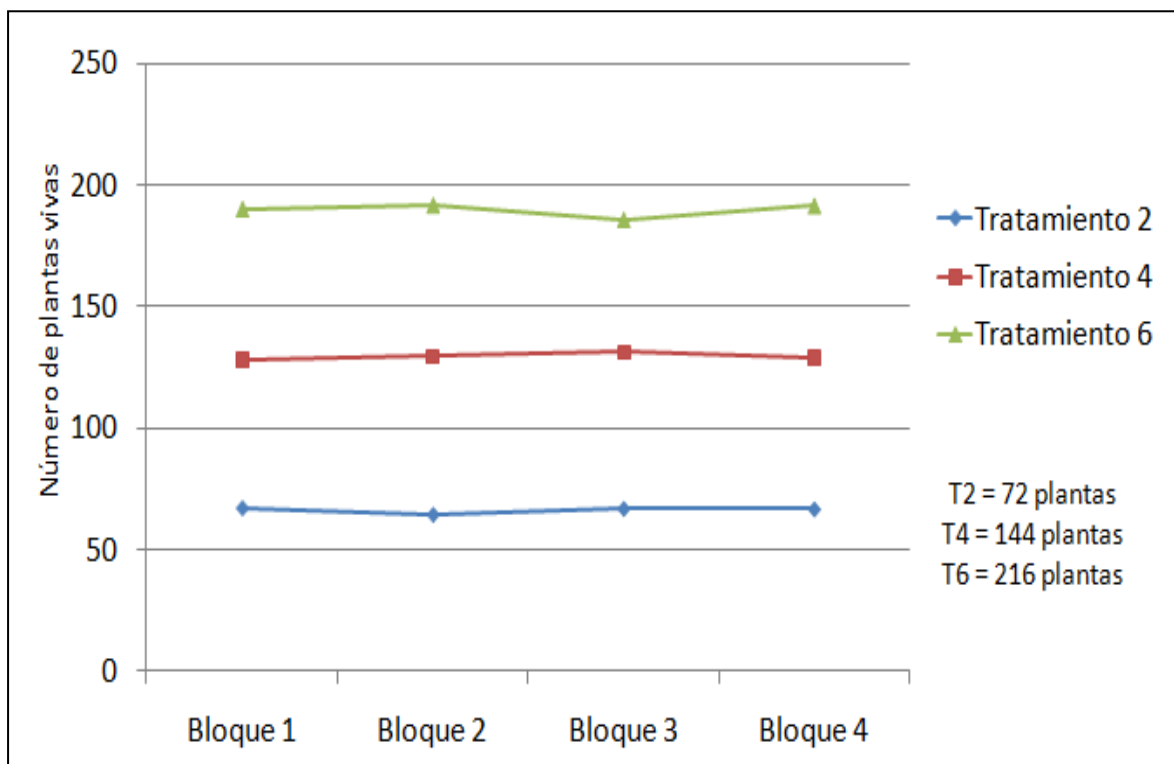
<b>Bloque 1</b>				<b>Bloque 2</b>			
<b>Hilera</b>	<b>T2</b>	<b>T4</b>	<b>T6</b>	<b>Hilera</b>	<b>T2</b>	<b>T4</b>	<b>T6</b>
<b>2</b>	68	132	195	<b>2</b>	69	128	195
<b>3</b>	66	131	183	<b>3</b>	65	132	191
<b>4</b>	69	126	193	<b>4</b>	62	127	188
<b>5</b>	65	124	189	<b>5</b>	61	130	192
<b><math>\bar{X}</math></b>	67.00	128.25	190.00	<b><math>\bar{X}</math></b>	64.25	129.25	191.50
<b>Bloque 3</b>				<b>Bloque 4</b>			
<b>Hilera</b>	<b>T2</b>	<b>T4</b>	<b>T6</b>	<b>Hilera</b>	<b>T2</b>	<b>T4</b>	<b>T6</b>
<b>2</b>	58	130	183	<b>2</b>	64	128	192
<b>3</b>	68	128	185	<b>3</b>	67	131	197
<b>4</b>	63	131	186	<b>4</b>	69	126	189
<b>5</b>	69	135	189	<b>5</b>	66	131	187
<b><math>\bar{X}</math></b>	66.66	131.00	185.75	<b><math>\bar{X}</math></b>	66.50	129.00	191.25

**T2 = 200,000 Plantas/Ha = 72 Plantas/Hilera**

**T4 = 400,000 Plantas/Ha = 144 Plantas/Hilera**

**T6 = 600,000 Plantas/Ha = 216 Plantas/Hilera**

Cuadro XII						
Promedio de plantas vivas por tratamiento, y bloque posterior a la primera cosecha.						
Tratamiento	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	$\bar{X}$	Mortalidad %
Número de plantas vivas						
<b>T2</b>	67.00	64.25	66.66	66.50	66.10	8.19
<b>T4</b>	128.25	129.25	131.00	129.00	129.37	10.16
<b>T6</b>	190.00	191.50	185.75	191.25	189.62	12.21



**Grafico II. Promedio de plantas vivas registradas en cada tratamiento, posterior a la primera cosecha.**

**Cuadro XIII**  
**Plantas vivas registradas por hilera, por tratamiento, y por bloque posterior a la segunda cosecha.**

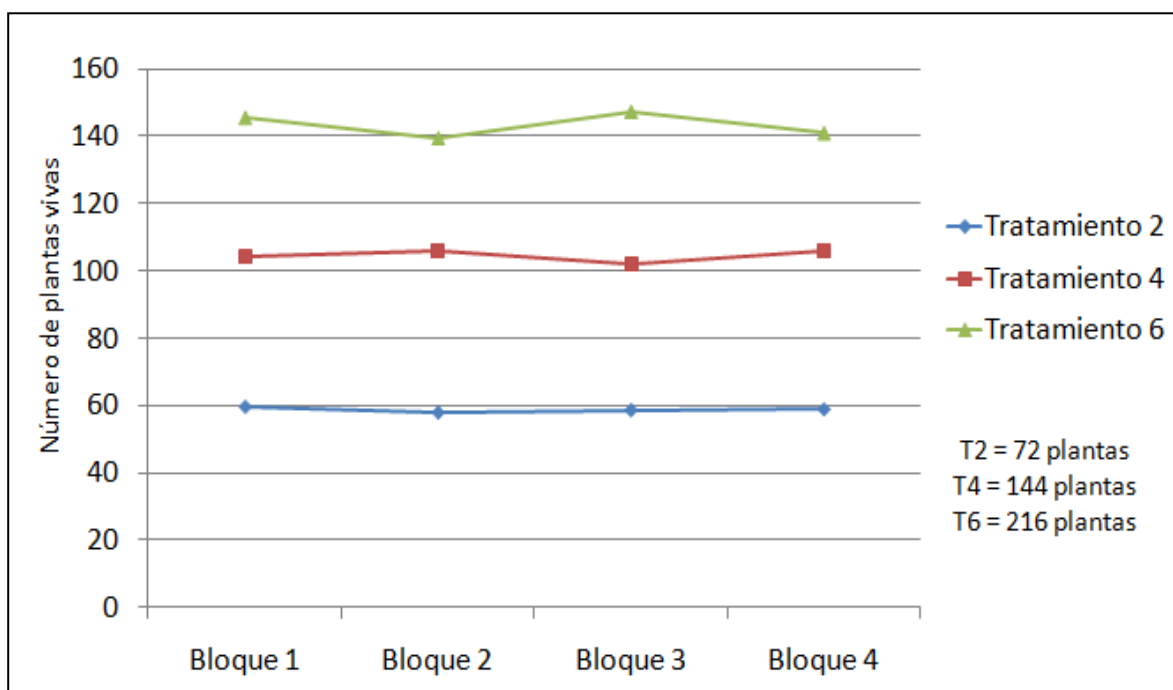
Bloque 1				Bloque 2			
Hilera	T2	T4	T6	Hilera	T2	T4	T6
2	61	114	142	2	43	116	132
3	58	99	136	3	65	108	142
4	63	102	161	4	62	99	148
5	56	101	143	5	61	101	136
$\bar{X}$	59.50	104.00	145.5	$\bar{X}$	57.75	106.00	139.50
Bloque 3				Bloque 4			
Hilera	T2	T4	T6	Hilera	T2	T4	T6
2	52	95	133	2	58	104	139
3	61	110	165	3	63	107	156
4	59	113	146	4	62	97	141
5	62	89	145	5	52	115	128
$\bar{X}$	58.50	101.75	147.25	$\bar{X}$	58.75	105.75	141.00

**T2 = 200,000 Plantas/Ha = 72 Plantas/Hilera**

**T4 = 400,000 Plantas/Ha = 144 Plantas/Hilera**

**T6 = 600,000 Plantas/Ha = 216 Plantas/Hilera**

Cuadro XIV						
Promedio de plantas vivas por tratamiento, y por bloque posterior a la segunda cosecha.						
Tratamiento	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	$\bar{X}$	Mortalidad %
Número de plantas vivas						
<b>T2</b>	59.50	57.75	58.50	58.75	58.62	18.58
<b>T4</b>	104.00	106.00	101.75	105.75	104.37	27.52
<b>T6</b>	145.50	139.50	147.25	141.00	143.31	33.65



**Gráfico III. Promedio de plantas vivas registradas en cada tratamiento, posterior a la segunda cosecha.**

**Cuadro XV**  
**Plantas vivas registradas por hilera, por tratamiento, y por bloque posterior a la tercera cosecha.**

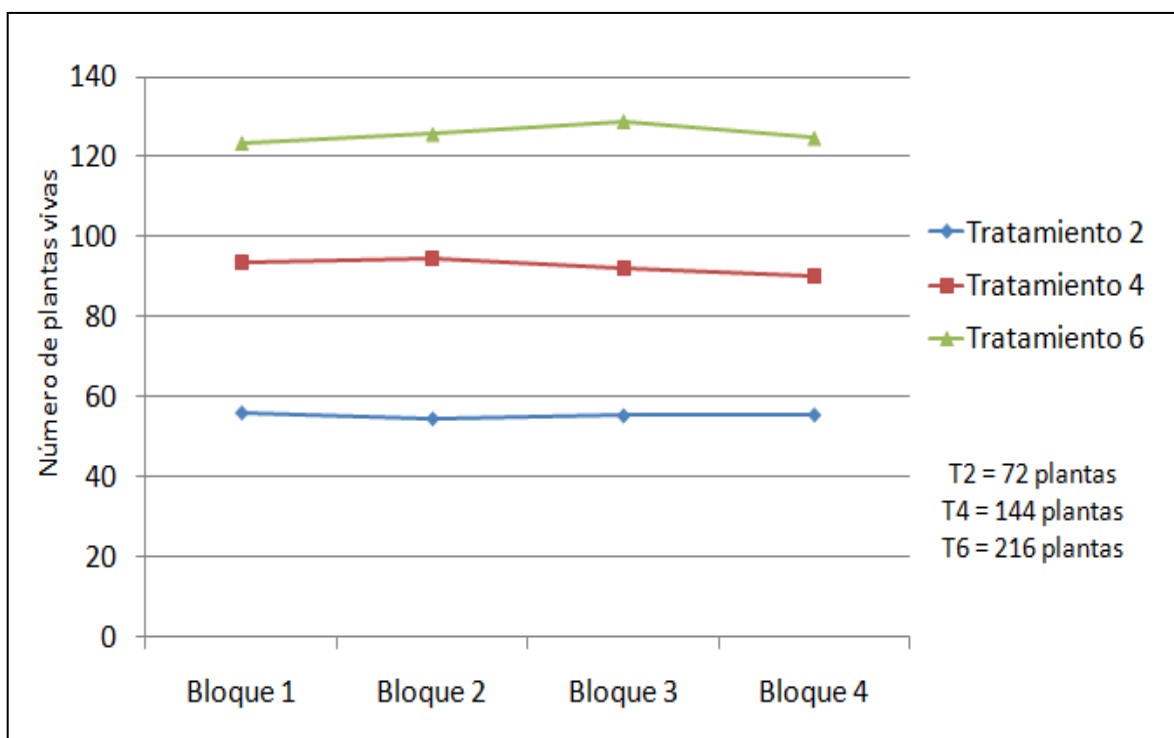
Bloque 1				Bloque 2			
Hilera	T2	T4	T6	Hilera	T2	T4	T6
2	57	103	138	2	43	104	130
3	55	87	121	3	56	92	117
4	60	91	122	4	59	95	122
5	53	93	113	5	61	87	134
$\bar{X}$	56.25	93.50	123.50	$\bar{X}$	54.75	94.50	125.75
Bloque 3				Bloque 4			
Hilera	T2	T4	T6	Hilera	T2	T4	T6
2	48	89	115	2	55	93	127
3	57	93	137	3	63	91	132
4	55	101	126	4	58	92	128
5	62	85	138	5	47	85	112
$\bar{X}$	55.50	92.00	129.00	$\bar{X}$	55.75	90.25	124.75

**T2 = 200,000 Plantas/Ha = 72 Plantas/Hilera**

**T4 = 400,000 Plantas/Ha = 144 Plantas/Hilera**

**T6 = 600,000 Plantas/Ha = 216 Plantas/Hilera**

Cuadro XVI						
Promedio de plantas vivas por tratamiento, y por bloque posterior a la tercera cosecha.						
Tratamiento	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	$\bar{X}$	Mortalidad %
Número de plantas vivas						
<b>T2</b>	56.25	54.75	55.50	55.75	55.56	22.83
<b>T4</b>	93.50	94.50	92.00	90.25	92.56	35.72
<b>T6</b>	123.50	125.75	129.00	124.75	126.10	41.62



**Gráfico IV. Promedio de plantas vivas registradas en cada tratamiento, posterior a la tercera cosecha.**

**Cuadro XVII**  
**Registro diario de precipitación pluvial (mm) en la FCA - Chiriquí 2010 – 2011.**

<b>Día</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>
1	71.0	0.0	78.8	11.0	0.4	-	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0
2	3.5	21.5	7.5	77.5	21.0	-	0.0	0.0	11.5	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	5.0	66.5	0.0	-	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	21.5	8.3	0.0	25.0	0.0	-	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	2.7	3.0	25.0	4.0	206.5	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5
6	133.5	16.5	3.5	14.5	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.5
7	0.5	54.7	3.0	4.0	6.2	-	9.0	0.0	0.0	0.0	1.0	4.0
8	4.5	30.0	3.5	0.0	0.3	-	0.0	31.0	0.0	30.5	0.0	0.0
9	0.0	4.8	6.8	0.0	0.0	-	4.8	0.0	18.0	0.0	9.8	9.5
10	5.0	3.1	4.5	0.0	3.0	-	0.0	0.0	0.0	8.0	0.5	0.0
11	44.8	33.6	10.5	0.0	0.0	-	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	9.0	13.3	79.0	12.5	1.5	-	6.4	4.0	0.0	25.0	12.5	0.0
13	0.0	1.0	8.5	0.0	19.5	-	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	6.5
14	64.0	0.0	0.0	52.0	0.5	-	0.0	0.0	0.0	1.8	4.8	15.0
15	0.0	70.0	27.5	15.5	1.5	-	0.0	0.0	0.0	0.0	21.0	28.0
16	120.0	2.5	100.0	5.5	11.5	-	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0
17	5.0	0.0	22.5	29.8	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	21.8	0.0
18	1.0	08	11.5	23.5	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	2.0	0.0	10.0	29.3	5.0	-	0.0	0.0	0.0	19.5	24.0	53.0
20	4.8	29.0	37.5	0.0	4.8	-	0.0	0.0	0.0	1.5	7.5	58.0
21	12.5	0.0	1.0	14.0	8.0	-	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5
22	0.0	5.2	7.0	16.0	1.5	-	18.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
23	1.5	9.0	1.2	25.2	1.5	-	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	15.5
24	20.0	0.0	0.0	0.0	37.2	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	101.1
25	5.5	5.0	76.0	3.2	0.0	-	0.0	2.0	0.0	0.0	1.5	75.0
26	17.7	8.0	2.0	55.5	20.5	-	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	3.0
27	54.0	24.0	1.2	2.0	7.5	-	0.0	89.1	0.0	2.0	0.0	0.0
28	5.5	5.5	22.2	2.5	0.0	-	0.0	2.5	0.0	1.5	39.0	1.2
29	11.5	8.0	0.0	1.5	1.8	-	0.6	-	0.0	1.0	0.0	3.0
30	44.5	0.0	4.0	7.0	0.0	-	0.0	-	25.5	0.0	21.0	96.5
31	17.0	0.0	-	11.0	-	-	0.0	-	0.0	-	1.0	-
<b>Total</b>	<b>678.5</b>	<b>356.8</b>	<b>559.2</b>	<b>508.5</b>	<b>360.0</b>	<b>-</b>	<b>66.9</b>	<b>128.6</b>	<b>57.5</b>	<b>90.8</b>	<b>185.1</b>	<b>502.8</b>

Fuente: CEIACHI (los datos correspondientes al mes de diciembre, se extraviaron).

**Figura I. Siembra a chorrillo de la parcela experimental.**



**Figura II. Levantamiento de la muestra de suelo en la parcela experimental.**



**Figura III. Vista de las hileras del tratamiento T4 (400 000 plantas/ha) en el bloque 1, a los 40 días después de la siembra.**



**Figura IV. Aplicación de fertilizante al chorrillo en el tratamiento T2 (200 000 plantas/ha) del bloque 3.**



**Figura V. Cisterna utilizado en el método de riego para el trasiego de agua.**



**Figura VI. Vista de la parcela efectiva del tratamiento T4 en el bloque 2, recién cosechada.**



**Figura VII. Tercera cosecha del tratamiento T2 (200 000 plantas/ha) ubicado en el bloque 4.**



**Figura VIII. Pesaje de biomasa mediante una balanza calibrada en libras.**



**Figura IX. Selección al azar de submuestra de materia verde**



**Figura X. Picado de muestra de biomasa seleccionada al azar.**



**Figura XI. Selección de muestra de biomasa picada del tratamiento T6 (600 000 plantas/ha) en el bloque 2.**



**Figura XII. Pesaje de muestra de biomasa del tratamiento T2 (200 000 plantas/ha) en el bloque 1, utilizando una balanza digital.**



**Figura XIII. Secado de las muestras en un horno a 65 °C.**



**Figura XIV. Pesaje de muestras para la preparación de los extractos**



**Figura XV. Horno, donde se incineraron las muestras de plantas en los crisoles previamente pesados.**



**Figura XVI. Preparación de los extractos con HCl en la cámara de extracción de gases**



**Figura XVII. Preparación de los patrones de fósforo (P) foliar en volumétricos de 50 ml.**



**Figura XVIII. Lectura de P en el Espectrofotómetro de color, visible a 470 nm.**



**Figura XIX. Determinación de macronutrientes (K, Ca, Mg) y micronutrientes (Fe, Zn, Cu, Mn) con el Espectrofotómetro de absorción atómica.**



**Figura XX. Digestión de las muestras para la determinación de nitrógeno.**



**Figura XXI. Preparación de la solución de ácido bórico para la determinación de N.**



**Figura XXII. Destilación de nitrógeno a través de la unidad de destilación Kjeldahl.**



**Figura XXIII. Titulación de la solución para la determinación del contenido de nitrógeno en muestras de plantas.**



**Figura XXIV. Croquis de la parcela experimental y la distribución de los tratamientos.**

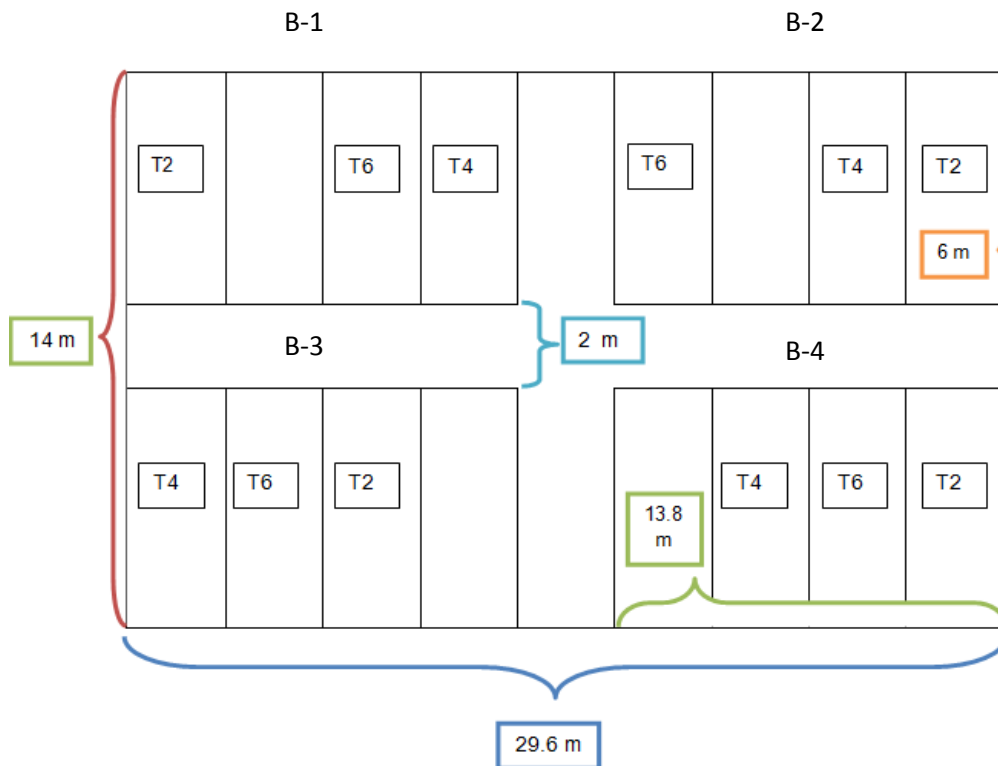


Figura XXV. Ubicación geográfica de la Parcela Experimental



