



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN CIENCIAS

EN

AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE *Moringa oleifera* LAM. BAJO
DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO EN LA
ZONA CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO**

RAFAEL RUIZ HERNÁNDEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

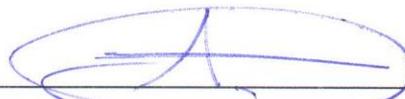
MAESTRO EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ, MÉXICO

La presente tesis, titulada: "Crecimiento y producción de biomasa de *Moringa oleifera* Lam. bajo diferentes condiciones de manejo en la zona centro de Veracruz, México" realizada por el alumno: Rafael Ruiz Hernández, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
AGROECOSISTEMAS TROPICALES
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. Arturo Pérez Vázquez

ASESOR



Dr. Cesáreo Landeros Sánchez

ASESOR



Dra. Katia Angélica Figueroa Rodríguez

ASESOR



Dra. Ofelia Andrea Valdés Rodríguez

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México, 5 agosto de 2016

CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE *Moringa oleifera* LAM. BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO EN LA ZONA CENTRO DE VERACRUZ

Rafael Ruiz Hernández, M.C.

Colegio de Posgraduados, 2016

La planta *Moringa oleifera* Lam. ha adquirido gran importancia a nivel mundial debido a su uso alimenticio, energético, floculante y medicinal. México es un país con altos niveles de inseguridad alimentaria y desnutrición. Moringa es una planta que puede mejorar la nutrición humana. Este trabajo de tesis incluye tres capítulos, el primero sobre el estado del arte en moringa, el segundo sobre el efecto de la humedad y el tercero sobre el efecto de la poda ambos en terminos del crecimiento y producción de biomasa. Se encontró que en los últimos 10 años se han publicado 1,645 trabajos de investigación donde México ha contribuido con el 3.4%. Se evidencia que es necesario conocer su comportamiento ante diferentes tipos de manejo agronómico que se relacionen con una mayor producción de biomasa. El objetivo de segundo capítulo fue cuantificar el crecimiento y la producción de biomasa de *M. oleifera* en función de diferentes niveles de humedad del suelo. Se evaluaron cuatro tratamientos (75, 50, 25 y 10% de humedad aprovechable) y se utilizaron descriptores, cuantitativos para determinar la altura, diámetro del tallo, número de hojas y producción de biomasa. Además, se determinó el porcentaje de proteína, humedad y ceniza contenida en la hoja. No se encontraron diferencias estadísticas significativas por el efecto de la humedad ($p>0.05$). El valor de proteína en la hoja fue del 18%. En el capítulo tres, experimento del efecto de la poda, se evaluaron tres tratamientos en un cultivo con tres años de edad, siendo la altura de poda de: 0.75, 1.00 y 1.50 m. Se registraron variables cuantitativas, como son altura de los brotes, número de ramas y hojas, y producción de biomasa en fracción gruesa y fina. Se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p<0.05$) en el crecimiento y supervivencia de los brotes; aunque no así con la producción de biomasa. Se concluye que los niveles de humedad y alturas de poda evaluados no tuvieron efecto en cuanto a la producción de biomasa.

Palabras clave: *Moringa oleifera* Lam., biomasa, estrés hídrico, manejo, podas.

GROWTH AND BIOMASS PRODUCTION OF *Moringa oleifera* LAM. UNDER DIFFERENT MANAGEMENT CONDITIONS IN VERACRUZ STATE

Rafael Ruiz Hernández, M.C.
Colegio de Posgraduados, 2016

The *Moringa oleifera* Lam. is a plant that has become worldwide so important due to its food, energy, flocculant and medicinal use. Mexico is a country with high levels of food insecurity and malnutrition. Moringa is a plant that can improve human nutrition. This thesis includes three chapters: the first deals with the state of art in moringa, the second focuses on the effect of moisture and the third is the effect of pruning on growth and biomass production. It was found that in the last 10 years have been published 1,645 research papers where Mexico has contributed with 3.4% of them. It is evident that we need to know their behavior in different types of agricultural management to increase biomass production. The objective of the second chapter was to quantify growth and biomass production of *M. oleifera* according to different levels of soil moisture. Four treatments (75, 50, 25 and 10% soil moisture) were tested and quantitative descriptors were used to determine the height, stem diameter, number of leaves and biomass production. In addition, the percentage of protein, humidity and ash contents in the leaf was analysed. No significant statistical differences were found for the effect of moisture ($p>0.05$) was found. The value of protein in the leaf was 18%. In chapter three, the effect of pruning where three treatments were tested in a three years crop, the heights of pruning were: 0.75, 1.00 and 1.50 m. Quantitative variables were recorded, such as shoot height, number of branches and leaves, and biomass production in coarse and fine fraction. Significant Statistical differences ($p<0.05$) on growth and survival of outbreaks were found, but not for biomass production. It is concluded that moisture levels and pruning heights evaluated had no effect in terms of biomass production.

Keywords: *Moringa oleifera* Lam., biomass, hydric stress, management, pruning.

DEDICATORIA

A **DIOS** por haberme dado la vida.

A mi madre: **Reyna Hernández Martínez**, por darme todo su amor, sus consejos y convertirme en una persona de bien.

A mis Hermanas y Hermanos: **Fausta, Eufracia, Nazario, Filimon y Eleazar** por su apoyo incondicional y que a pesar de la distancia siempre estuvieron conmigo.

A mis sobrinos: **Anahí, Oscar Daniel, Arleth, Jordi, Lucero, Ángel Daniel, Jenny y Melani** por demostrarme que siempre hay algo nuevo que aprender.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el apoyo económico para realizar mis estudios de postgrado.

Al **Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz** por haberme dado la oportunidad de realizar mis estudios de maestría.

A mi CONSEJO PARTICULAR: **Dr. Arturo Pérez Vázquez, Dr. Cesáreo Landeros Sánchez, Dra. Ofelia Andrea Valdés Rodríguez y Dra. Katia Angélica Figueroa Rodríguez**, por todo el apoyo durante cada una de las etapas de esta investigación. Por sus comentarios y sugerencias en la elaboración de este documento. Gracias por haberme dedicado su tiempo y conocimientos.

Al **Dr. Juan Carlos Seseña**, gracias por su apoyo en la fase de campo.

Al **Dr. Octavio Ruiz Rosado**, gracias Dr. por su apoyo en el registro de los datos meteorológicos.

Al **Dr. José López Collado**, gracias Dr. por su apoyo en el análisis de la información.

A la **Dra. María Magdalena Crosby**, para haberme permitido realizar un análisis Bromatológico en su laboratorio.

A los **Ing. Oscar y Adán** por su asesoría en el trabajo de laboratorio.

Al **M. C. Ángel Ríos** y a todo el personal de campo por el apoyo brindado en el establecimiento y manejo de los experimentos.

A la **Bioq. Gabriela Zarate Canseco** por su apoyo en esta investigación.

A la **Dra. Liliana Armida Alcudia**, por brindarme todas las facilidades para poder trabajar en el Laboratorio Agua-Suelo y Planta del Campus Veracruz.

Al **Agroq. Martin Vázquez López** por su apoyo en la fase de laboratorio.

A mis hermanos de Generación **“Xe-miyos” Otoño 2014**: Luis M. Guerrero, Sergio Sánchez, Martha E. Martínez, Luis A. Pérez, Miguel A. Castelán, Erik Díaz, Anayeli Torres, Aleyda G. Castro, José Pérez, José A. Naranjo, Gerardo Cano y Sergio A.

Lagunés, por compartir sus conocimientos de manera desinteresada, así como su valiosa amistad, apoyo moral y confianza.

A mis amigos: Ismael Quiroz, Jhoeli A. Palacios, Gregorio Salinas, Rosario, Beatriz Cuellar, Rodrigo Flores, Roció L. Aguirre, José A. Medel (**Chevito**), Adrián Sánchez, Eduardo Sánchez, Flor García, Cesar M. Torres, Vinicio, Aurora, María Vega, Oliverio Bautista, Salvador Partidas, Adán Cabal, Nicholas T. García, Fritz Ruiz, Josué Pascual, Gustavo Ocaña, Rosalba Loyo, Miguel A. Matus, Daniel Chai, José Lara, Othón Cruz, Patricia, Iván Hernández, Juan C. García.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
2. OBJETIVO GENERAL	4
3. HIPÓTESIS GENERAL	4
4. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	5
4.1 Teoría general de sistemas y su aplicación en la agricultura.....	5
4.2 Agroecosistemas: definiciones y enfoques	6
4.3 Seguridad alimentaria y nutrición: situación en México.....	8
4.4 Componentes del rendimiento del cultivo de moringa.....	11
4.5 <i>Moringa oleifera</i> Lam. un recurso alimenticio en el trópico.....	12
4.5.1 Origen y distribución geográfica	12
4.5.2 Calidad nutricional.....	13
4.5.3 Uso alimenticio	15
5. LITERATURA CITADA.....	16
CAPÍTULO I. <i>Moringa oleifera</i> LAM.: ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE	22
1.1. INTRODUCCIÓN	24
1.2. METODOLOGÍA.....	25
1.3. RESULTADOS	25
1.3.1. Estudios a nivel internacional.....	25
1.3.2. Estudios realizados en México.....	28
1.3.3. Investigaciones en el área de medicina	29
1.3.4. Publicaciones a nivel nacional	30
1.3.5. Investigaciones en el área agronómica y en ciencias biológicas	30
1.3.6. Publicaciones a nivel nacional	31
1.3.7. Alimento humano	34
1.3.8. Bioabsorbente.....	37
1.3.9. Floculante.....	38
1.3.10. Bioenergético.....	38
1.4. CONCLUSIÓN	40
1.5. LITERATURA CITADA.....	41

CAPÍTULO II. EFECTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN <i>Moringa oleifera</i> LAM. EN LA ZONA CENTRO DE VERACRUZ	49
2.1 INTRODUCCIÓN	51
2.2 MATERIALES Y MÉTODOS	52
2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
2.4 CONCLUSIONES.....	63
2.5 LITERATURA CITADA.....	64
CAPÍTULO III. EFECTO DE LA PODA EN <i>Moringa oleifera</i> LAM. EN LA ZONA CENTRO DE VERACRUZ	68
3.1 INTRODUCCIÓN	70
3.2 MATERIALES Y MÉTODO	71
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	73
3.4 CONCLUSIONES.....	81
3.5 LITERATURA CITADA.....	82
CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y CONCLUSIONES	86
ANEXOS	87

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Valores comparativos de vitaminas, minerales y proteínas por cada 100 g de moringa respecto a otros alimentos.	14
Cuadro 2. Comparación de <i>Moringa oleifera</i> Lam. y <i>Leucaena leucocephala</i>	33
Cuadro 3. Contenido de aminoácidos (mg por g de peso seco) de las partes comestibles de <i>Moringa oleifera</i> Lam.	35
Cuadro 4. Contenido de vitaminas y minerales en hojas de moringa (100 g de porción comestible).	36
Cuadro 5. Principales ácidos grasos identificados en los aceites de <i>Moringa oleifera</i> Lam. y <i>Jatropha curcas</i> % (w/w).	39
Cuadro 6. Contenido químico de las tortas de prensa desgrasados % (w / w).	40
Cuadro 7. Tratamientos de humedad aprovechable.	55
Cuadro 8. Distribución de la biomasa en tres muestreos destructivos en moringa.	59
Cuadro 9. Correlaciones entre las variables registradas del efecto de la humedad en el suelo de moringa.	59
Cuadro 10. Tratamientos de altura de poda en el cultivo de moringa.	72
Cuadro 11. Perfil de suelo del cultivo de moringa.	73
Cuadro 12. Análisis de suelo de cada profundidad del cultivo de moringa.	74
Cuadro 13. Producción de biomasa en ambos periodos de poda.	77
Cuadro 14. Contenido de humedad, proteína y ceniza en las hojas de moringa.	78
Cuadro 15. Correlaciones entre las variables registradas en la producción de biomasa de moringa.	79

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Esquema del agroecosistema con moringa.	8
Figura 2. Incremento de la población mexicana del año 2000 al año 2015 (FAOSTAT, 2015).....	9
Figura 3. Prevalencia de la insuficiencia de alimentos en México (FAOSTAT, 2015)...	10
Figura 4. <i>Moringa oleifera</i> Lam.	13
Figura 5. Tipos de documentos publicados en el tema de <i>M. oleifera</i> (Scopus, 2015). 26	
Figura 6. Principales temas investigados de <i>M. oleifera</i> a nivel internacional.....	27
Figura 7. Artículos de <i>M. oleifera</i> más citados a nivel internacional.....	27
Figura 8. Temas investigados sobre <i>M. oleifera</i> en México (Elaboración propia).	28
Figura 9. Principales enfermedades tratadas con moringa (Elaboración propia).....	30
Figura 10. Principales trabajos realizados en el área agronómica en <i>M. oleifera</i> a nivel internacional.....	31
Figura 11. Ubicación del área de estudio en el Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.....	53
Figura 12. Curva de retención de humedad del sustrato utilizado.	54
Figura 13. Crecimiento promedio de los cuatro tratamientos de humedad de <i>Moringa oleifera</i> Lam.....	56
Figura 14. Crecimiento del diámetro de tallos de los cuatro tratamientos de humedad de <i>M. oleifera</i>	57
Figura 15. Número de hojas de <i>M. oleifera</i> de los cuatro tratamientos de humedad del suelo con respecto al tiempo.....	58
Figura 16. Modelo de crecimiento de <i>M. oleifera</i>	60
Figura 17. Relación tallo/diámetro de <i>M. oleifera</i> en el periodo de evaluación.	60
Figura 18. Crecimiento promedio de brotes de <i>M. oleifera</i> a diferentes alturas de poda en dos periodos.....	75
Figura 19. Número de hojas de los tratamientos sometidos a diferentes alturas de poda en dos periodos.....	76
Figura 20. Número de brotes de los tratamientos sometidos a diferentes alturas de poda en 2 periodos.....	77

INTRODUCCIÓN GENERAL

La preocupación mundial por asegurar la producción de alimentos ante el incremento constante de la población mundial cobró importancia desde que Malthus escribió su “Ensayo sobre el principio de población” (1798) donde indicaba que la población crecía más rápido (geométricamente) que la producción de alimentos (aritméticamente) y que, por tanto, la humanidad estaría condenada a sufrir sobrepoblación y escasez de alimentos (Camberos, 2000). Una de las soluciones que propuso fue crear alternativas para el control de alimentos. Recientemente las Naciones Unidas ha establecido la definición de seguridad alimentaria que establece el acceso físico, económico y social a suficientes alimentos inocuos y nutritivos que satisfagan las necesidades alimentarias (FAO, 2013). Es decir, la seguridad alimentaria está consagrada como un derecho internacional en donde toda persona tiene el derecho a consumir alimentos sanos y nutritivos (FAO, 2006).

El consumo de alimentos es necesario para mantener una vida saludable y contribuir al desarrollo de las potencias biológicas y cognitivas del ser humano (Martínez y Villezca, 2005). A nivel mundial existe una gran diversidad de plantas que pueden ser nativas o introducidas y pueden ser cultivadas y utilizadas como alimentos. Investigaciones recientes han demostrado que la planta *M. oleifera* posee importantes propiedades nutricionales (Villareal y Ortega, 2014) y medicinales (Farooq *et al.*, 2012). Es una planta nativa del norte de la India cuyo uso principal es como alimento nutritivo, empleada inicialmente en países de Asia y África (Alfaro y Martínez, 2008). Además, por sus requerimientos edafoclimáticos (Muhl *et al.*, 2011), la moringa ofrece características idóneas para establecerse como cultivo en comunidades rurales en el trópico seco de México y otros países de Latinoamérica con clima similar (Olson y Fahey, 2011).

Esta planta fue introducida al territorio mexicano durante los viajes de Nao de China (Olson y Fahey, 2011). A la fecha existen varias plantaciones en el país, particularmente para la obtención de la hoja y elaboración de productos como complemento alimenticio. Algunas plantaciones han sido establecidas con fines de

investigación en los estados de Oaxaca, Sonora, Yucatán, Jalisco, Veracruz y Chiapas (SAGARPA, 2014). La zona centro del Estado de Veracruz con clima de trópico subhúmedo parece reunir las características idóneas para este cultivo, no obstante, esto no ha sido corroborado, por lo cual es necesario documentar el desempeño de esta planta bajo diferentes regímenes de humedad del suelo y altura de poda. El objetivo de este estudio fue cuantificar el crecimiento y producción de biomasa de *M. oleifera* bajo diferentes condiciones de manejo agronómico en condiciones semicontroladas y de campo en la zona centro del Estado de Veracruz.

Esta tesis ésta conformada en el formato de artículos. En el primer capítulo se expone el análisis del estado del arte de la moringa. En el segundo capítulo se aborda el efecto de la humedad del suelo en *Moringa oleifera* Lam. y el tercer capítulo analiza el efecto de la poda en *Moringa oleifera* Lam. en la zona centro de Veracruz.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo a la Secretaria de Salud la desnutrición es un problema grave en el país (Shamah *et al.*, 2015). Esto a pesar de existir en la naturaleza plantas que presentan altos valores de proteína y vitaminas, como en el caso de *M. oleifera* (Del Toro *et al.*, 2011). Pero la seguridad alimentaria va más allá y tiene que ver con el acceso, el poder adquisitivo de las familias para comprar a los alimentos. En diversas partes del mundo se ha utilizado a moringa con fines alimenticios ya sea para consumo humano o como alimento para animales (Reyes, 2004; Santos *et al.*, 2012). En México existen registros de su cultivo para la fabricación de alimento animal (Haro, 2015) y para consumo humano (Olson y Fahey, 2011).

El rendimiento de los cultivos está determinado por muchos factores, tales como el tipo de manejo de las unidades de producción, la tecnología, la organización, cantidad y calidad de insumos, entre otros, que conducen a una alta o baja productividad haciendo que la actividad sea más o menos rentable (Arevalo, 2004).

Uno de los problemas que enfrenta esta especie como cultivo es la falta de información sobre su manejo agronómico como resultado de falta de conocimiento técnico a las condiciones locales de México. La altura de corte y el agua determinan la producción y la cantidad de materia seca producida en plantas como moringa (Isah *et al.*, 2014). Por ello, es necesario generar información que contribuya a maximizar los rendimientos del cultivo identificando niveles adecuados de humedad del suelo y la altura de corte y de esa forma documentar los resultados para su mejor aprovechamiento.

Foild *et al.*, (1999) y Goss, (2012) mencionan que una alta densidad de plantas en el cultivo de moringa promueve alta competencia por la luz y nutrientes, y que el tamaño de los diámetros y rebrotes son muy delgados. La diferencia en altas y bajas densidades se ve reflejada en la cantidad de producción de biomasa en la primera y segunda cosecha (Reyes, 2004).

Esta planta requiere para su establecimiento de suelos francos-arcillosos (Foild *et al.*, 1999), tolera suelos pesados o vertisoles, con buen drenaje (Reyes, 2004). Un cultivo de moringa en condiciones de temporal, sin riegos auxiliares, puede producir hasta 80 t ha⁻¹ de forraje fresco. Esto implica que un mal manejo en la humedad del suelo en el cultivo trae como consecuencia una baja productividad de biomasa ya que un buen suministro de agua de riego puede producir rendimientos de hasta las 210 t ha⁻¹ (Pérez, 2010).

La falta de nutrimentos limita su crecimiento, impidiendo alcanzar los tres metros de altura en nueve meses en condiciones óptimas (Alfaro y Martínez, 2008). La moringa es susceptible a la fuerza de los vientos y al exceso de humedad del suelo o lluvia provocando que las hojas bajas se pongan amarillentas poco antes de defoliarse (Falasca y Bernabé, 2008).

Además, la baja productividad de biomasa puede deberse también a un mal manejo agronómico como es la altura de corte, esto tiene una relación entre tallos y ramas (Rico, 2013). También se debe considerar las condiciones ambientales, ya que los cortes que se realizan en épocas no lluviosas no producen gran cantidad de materia seca (Toral y Iglesias, 2007; Nouman *et al.*, 2013). Otro problema es la remoción

total de ramas, una opción para no podar de forma extrema es la remoción de hojas dejando las ramas libres y así evitar la pérdida de meristemos (Zeng, 2001).

Por lo anterior, el problema de investigación que se abordó en este estudio fue:
¿Cuáles son las diferencias en crecimiento y producción de biomasa de *Moringa oleifera* bajo diferentes niveles de humedad del suelo y alturas de poda?

2. OBJETIVO GENERAL

Cuantificar el crecimiento y la producción de biomasa de *Moringa oleifera* Lam. en función de diferentes niveles de humedad del suelo y alturas de poda.

Específicos

- 1) Conocer la respuesta de crecimiento y producción de biomasa de *Moringa oleifera* a diferentes niveles de humedad.
- 2) Medir la producción de biomasa en *Moringa oleifera* a diferentes alturas de poda.

3. HIPÓTESIS GENERAL

El crecimiento y la producción de biomasa de *Moringa oleifera* Lam. es función de la humedad del suelo y la altura de poda, teniendo mayores valores a niveles bajos de humedad del suelo y alturas de poda menores a 1 m de altura.

Particulares

- 1) Existen diferencias estadísticas en el crecimiento y producción de biomasa de *M. oleifera* cultivada a diferentes niveles de humedad
- 2) Existen diferencias estadísticas en el crecimiento y producción de biomasa de *M. oleifera* en función a la altura de poda.

4. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

4.1 Teoría general de sistemas y su aplicación en la agricultura

La Teoría General de Sistemas (TGS) fue propuesta por Ludwig Von Bertalanffy en el año de 1928 en su libro titulado *General System Theory*. El biólogo Bertalanffy planteaba que un sistema se caracteriza por las interacciones de sus componentes y la no linealidad de esas interacciones. La TGS se ha venido empleando para el análisis de los sistemas agrícolas o agroecosistemas. La TGS es la historia de una filosofía y un método para analizar y estudiar la realidad y desarrollar modelos, a partir de los cuales se puede intentar una aproximación paulatina a la percepción de una parte de la globalidad que es el Universo. Con lo que configura un modelo de la misma que no es aislado del resto y lo denominamos sistema (Sarabia, 1995). La TGS presenta una forma sistemática y científica de aproximación y representación de la realidad para diferentes disciplinas estudiando las relaciones y conjuntos que emergen de ella (Arnold y Osorio, 1998); sus objetivos son: 1) Desarrollar un lenguaje general que permita describir las características, funciones y comportamientos sistémicos 2) Desarrollar leyes aplicables; y 3) Promover la formalización de estas leyes (Arnold y Rodríguez, 1990).

La TGS es una herramienta muy útil cuando se trata de estudiar los agroecosistemas o sistemas agrícolas. Esta permite la interpretación de los fenómenos que suceden en la realidad y también hace posible la predicción de la conducta fuera de esa realidad (Johansen, 2004). Actualmente la investigación en agroecosistemas se divide en investigación cualitativa y cuantitativa. De hecho, la representación de un sistema es normalmente representado por una caja negra con entradas y salidas, donde los elementos dentro de esa caja interactúan uno con otro (Ramírez, 2002; Chiavenato, 2004).

Hart (1985) concibió al sistema como un arreglo de componentes que funciona como una unidad y que sus características más importantes son la estructura y la función. La estructura está relacionada con el arreglo de sus componentes y la

función con la finalidad del sistema (Martínez y Requena, 1986). Las cualidades del sistema son: a) interdependencia de las partes que lo integran y el orden a la cual subyace tal independencia; y b) las entradas y las salidas establecen una relación entre el sistema y el ambiente (Arnold y Osorio, 1998).

Los sistemas pueden clasificarse de acuerdo a su entidad en reales, ideales y modelos; por su origen, en naturales y artificiales; y en relación con el ambiente o al grado de aislamiento en cerrados o abiertos (Arnold y Osorio, 1998). Las observaciones en segundo orden son las estructuras disipativas, autoreferencialidad, auto-observación, autodescripción, auto-organización, reflexión y autopoiesis (Arnold y Rodríguez, 1991).

Existen dos enfoques para el estudio de la TGS, éstos son:

Primero. Observar al universo y elegir algunos fenómenos generales que están en diferentes disciplinas para construir un modelo que permita estudiar estos fenómenos (Johansen, 2004). Sus etapas son la identificación del problema, decisión de abordar el problema, modelaje de la realidad, utilización y trabajo con el modelo, decisión, puesta en marcha, operación y evaluación (Ackoff, 1998). El segundo consiste en agrupar las áreas de conocimiento en una jerarquía de acuerdo a la complejidad de la organización de las unidades creando un sistema con subsistemas (Johansen, 2004).

El pensamiento sistémico permite comprender la complejidad de los sistemas mediante el análisis de sus interacciones (Espejo, 1994). Este pensamiento se opone al pensamiento analítico (Bertalanffy, 1968), el cual estudia a los elementos por separado.

4.2 Agroecosistemas: definiciones y enfoques

Un agroecosistema se crea cuando la manipulación humana y la alteración de un ecosistema tienen lugar con el propósito de establecer la producción agrícola o pecuaria. Esto introduce varios cambios y en algunos casos radicales en la estructura y función del ecosistema natural. En los ecosistemas y agroecosistemas

y desde un punto de vista sistémico surgen ciertas cualidades que se reconocen como propiedades emergentes del sistema, las cuales se manifiestan una vez que todos los componentes del sistema están organizados; también pueden servir como indicadores de la sostenibilidad del sistema (Conway, 1987; Gliessman, 2001). Se le considera, asimismo, como un sistema agroecológico si cuenta con una o más poblaciones de utilidad agrícola (Blanco y Leyva, 2007) y podría decirse que el agroecosistema es la unidad de estudio de la agroecología.

Un agroecosistema es un ecosistema sometido a diferentes modificaciones por el hombre, donde la estabilidad biológica y la elasticidad originales se alteran y son remplazados por una combinación de factores ecológicos y socioeconómicos que deberían buscar estabilidad, continuidad y producción (Soriano y Aguilar, 1998; Greco y Tonolli, 2016). Los agroecosistemas contienen poblaciones humanas y dimensiones económicas y ecológicas, muchas veces manejados intensivamente con el fin de producir alimentos (FAO, 2016) e incrementar la rentabilidad.

El enfoque de los agroecosistemas puede servir como una metodología de análisis de la problemática que presenta la agricultura como es la de aumentar la producción agropecuaria, identificando los factores de producción que inciden directa o indirectamente como la cantidad de agua, la poda, densidad de siembra, factores biológicos entre otros. La identificación de los límites del agroecosistema permiten aplicar el enfoque de los sistemas. Éstos no son fijos y dependen del objetivo de estudio, estos límites pueden ser fijados al arbitrio del investigador con fines de investigación e identificar claramente el flujo de materia y energía. Entonces para poder estudiar un agroecosistema se debe identificar y analizar los sistemas superiores e inferiores (Sarandón, 2002) como una forma de contextualización y entendimiento de los agroecosistemas.

Es importante conocer el objeto de estudio para seleccionar el enfoque más adecuado y analizar al agroecosistema en su totalidad (Casanova *et al.*, 2015). Un claro ejemplo de esto, es la producción de biomasa que resulta de la eficiencia en la complejidad biológica y estructural al incrementarse la variedad de conexiones funcionales y las sinergias entre los distintos componentes (FAO, 2016). El

agroecosistema puede caracterizarse por su adaptación y ajuste a las posibilidades que ofrece la naturaleza; se reporta que la finalidad de éste es muchas veces, es el abastecimiento de alimentos (Gómez, 2012), sin dejar a un lado el cuidado del medio ambiente (Sans, 2007).

Para el estudio de un agroecosistema se requiere el conocimiento de los sistemas superior e inferior (Hart, 1985). A lo largo de las últimas décadas se han acuñado diversas definiciones de agroecosistemas, cada una de ellas está determinada por el objeto de estudio y cómo éste se concibe. En esta investigación se tomará como base la definición Greco y Tonolli (2012) que afirma que un agroecosistema es un ecosistema modificado deliberadamente por el ser humano en mayor o menor grado para la producción de bienes y servicios y que tiene como finalidad la satisfacción de las necesidades humanas mediante la producción de alimentos y otros bienes (Figura 1).

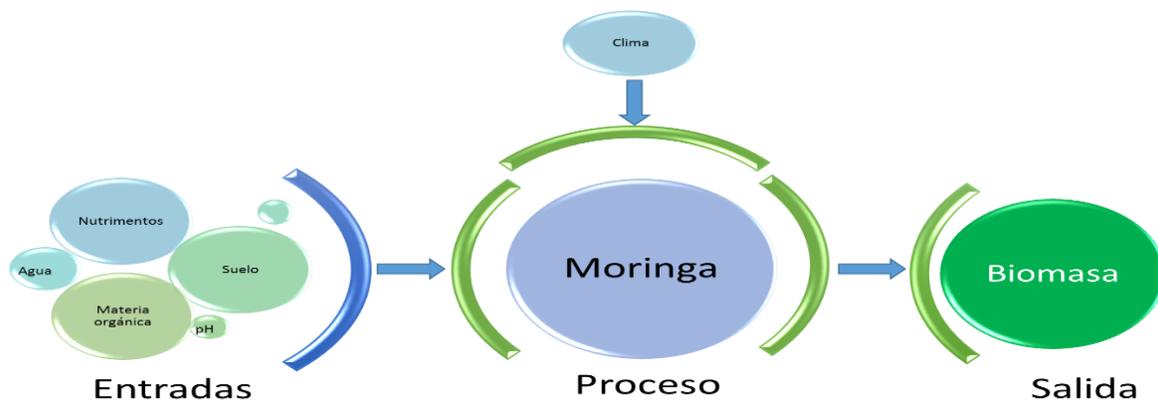


Figura 1. Esquema del agroecosistema con moringa.

4.3 Seguridad alimentaria y nutrición: situación en México

Se entiende que existe seguridad alimentaria cuando las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias con el fin de llevar una vida activa y sana

(FAO, 2013). Cuando la población está limitada en el acceso de alimentos ocurre la inseguridad alimentaria que es el resultado de una falta de disponibilidad o acceso limitados de los hogares (o de los individuos) a los alimentos. Por ello, la definición de seguridad alimentaria evolucionó para destacar el acceso a los alimentos más que la disponibilidad de éstos. Además, incorporó explícitamente la necesidad de una dieta sana que incluyera los macro y micronutrientes necesarios, y no sólo las calorías suficientes. Los elementos que considera la seguridad alimentaria son: que exista una oferta adecuada de alimentos disponibles en todo el año en el ámbito nacional y también en la comunidad; los hogares deben tener acceso físico y económico a una cantidad, calidad y variedad suficiente de alimentos. Por último, los jefes del hogar y los encargados en la preparación de los alimentos deben tener el tiempo, el conocimiento y la motivación para asegurar que las necesidades alimenticias de todos los miembros de la familia sean adecuadamente satisfechas (CONEVAL, 2010). El crecimiento poblacional trae aparejado una gran demanda de alimentos poniendo en riesgo la seguridad alimentaria, ya que del año 2000 se registró en México una población de 104,239,560 individuos y en el año 2015 la cifra aumento a 127,017,220 de individuos (Figura 2), con un déficit en soberanía alimentaria.

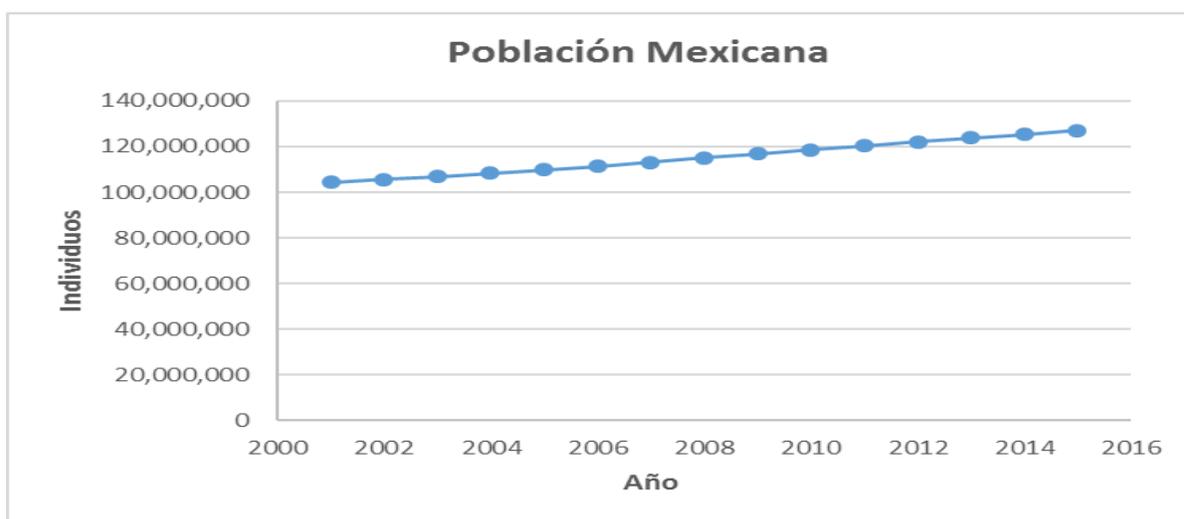


Figura 2. Incremento de la población mexicana del año 2000 al año 2015 (FAOSTAT, 2015).

La seguridad alimentaria incluye las dimensiones siguientes: disponibilidad, acceso, utilización y estabilidad de los alimentos. A pesar de que existan programas

gubernamentales para combatir problemas relacionados con la alimentación se sigue presentando una insuficiencia de alimentos (Figura 3).

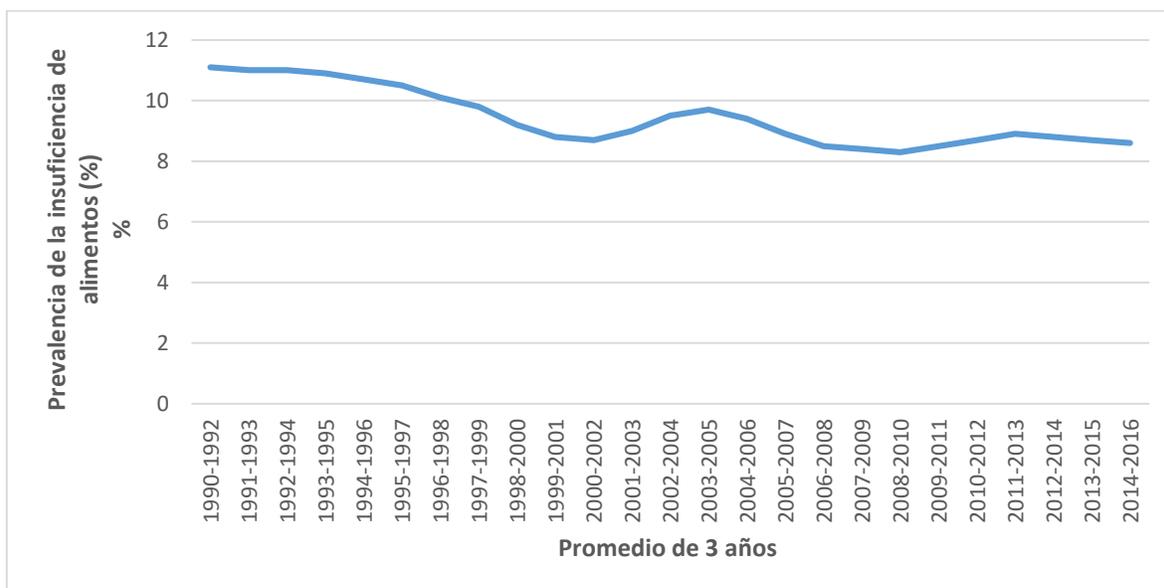


Figura 3. Prevalencia de la insuficiencia de alimentos en México (FAOSTAT, 2015).

Moringa es una planta que está disponible todo el año en comparación con otros cultivos cuya producción está limitada a su fenología, temporalidad o eventualidades climáticas como la sequía que limita la producción de alimentos.

La mayor cantidad de nutrimentos se encuentran en sus hojas (aún en mayor cantidad que en muchas leguminosas), a diferencia de otros cultivos empleados en la producción de alimentos (Cáceres *et al.*, 1992). Las hojas de moringa están disponibles durante todo el año ya que es un árbol perenne, que prospera bien aún en condiciones de sequía.

Algunas corporaciones promueven la siembra y cultivo masivo, permanente y sostenido de moringa, como una forma de producción comercial y la generación de empleos y en apoyo al tema de seguridad alimentaria; así como tratar problemas de desnutrición (COOPSOACHA, 2015). Las propiedades de la moringa pueden ayudar a combatir problemas de inseguridad alimentaria y ser utilizada para complementar tratamientos asociadas a las deficiencias de vitaminas, proteínas, minerales, carbohidratos y lípidos (Del Toro *et al.*, 2011).

4.4 Componentes del rendimiento del cultivo de moringa

Los componentes del rendimiento se definen y difieren en las diferentes etapas fenológicas de cualquier planta (Ates *et al.*, 2010). Las condiciones ambientales afectan el rendimiento (FAO, 2016). Además, la influencia de un mismo factor ambiental puede afectar a un componente con una diferente intensidad que a otros (Aguirrezábal, 2001). Identificar el momento en que se definen los distintos componentes del rendimiento y el efecto de los factores ambientales sobre los mismos, puede ayudar a detectar los “estadios críticos” y factores limitantes. Esto puede servir para establecer condiciones adecuadas de manejo del cultivo y evitar o minimizar las situaciones de “estrés” por efecto ambiental durante dichos períodos (Aguirrezábal, 2001).

El rendimiento final de un cultivo es el resultado de la interacción de diversos factores. Por ejemplo, toma de nutrimentos, fotosíntesis, relación fuente-demanda, respiración y status hídrico de la planta (Gutiérrez *et al.*, 2005). Todos estos factores pueden llegar a ser alterados por las condiciones climáticas (temperatura, precipitación, radiación solar, etc.) durante la etapa de crecimiento y por las prácticas de manejo del cultivo como son (densidad de siembra, fertilizantes, control de malezas, etc.) (Frederick, 1999).

Cuando se habla del rendimiento de un cultivo, se refiere al rendimiento biológico y al agronómico. La materia seca (biomasa área) acumulada por unidad de superficie es considerada como el rendimiento biológico (g m^{-2} o kg ha^{-1}), mientras que el segundo, llamado también rendimiento de grano o semilla, es considerado como la materia seca acumulada en la semilla o en el grano en la escala de tiempo (Escalante y Kohashi, 1993).

4.5 *Moringa oleifera* Lam. un recurso alimenticio en el trópico

El uso tradicional de las hojas de moringa como alimento y constituye una alternativa para mejorar el valor nutritivo de los alimentos regionales. Debido a sus características agronómicas, es uno de los vegetales disponibles durante todo el año (Alfaro y Martínez, 2008).

4.5.1 Origen y distribución geográfica

Moringa oleifera Lam. es una planta nativa de África Oriental y probablemente de las Indias orientales. Se introdujo a México durante los viajes de Nao de China (Olson y Fahey, 2011). Se cree que fue llevada a la India y África por los ingleses, introducida al Caribe por los franceses y de allí se llevó a Centro América (Standley y Stermarck, 1946).

Clasificación taxonómica

La *M. oleifera* pertenece a la familia Moringaceae, un grupo pequeño de plantas dentro del orden Brassicales que incluye la familia de la col y del rábano, junto con la familia del mastuerzo y las alcaparras (APG, 2009). Moringaceae comprende únicamente un género *Moringa*. Dentro de *Moringa* existen 13 especies (Verdcourt, 1985; Olson, 2011), las cuales abarcan una gama diversa de hábitos o formas de crecimiento, desde herbáceas y arbustos hasta arboles grandes (Olson y Razafimandimbison, 2000; Olson, 2011). Sus especies se caracterizan por tener hojas pinnadas grandes, en donde cada hoja está dividida en muchos folíolos dispuestos sobre un armazón llamado raquis. Los frutos forman una capsula larga y leñosa que cuando alcanza la madurez se abre lentamente en 3 valvas que se separan la una de la otra por su longitud, quedando pegadas sólo en la base del fruto. En la mayoría de las especies, las semillas presentan 3 alas longitudinales. La combinación de hojas pinnadas, frutos trivalvados y semillas con 3 alas hace que sea muy fácil de reconocer a una moringa (Olson y Fahey, 2011).

Reino: Plantae

Sub-reino: Embriophyta

División: Anthophyta

Clase: Dicotiledónea

Orden: Rhodales

Familia: Moringaceae

Género: *Moringa*

Especie: *oleifera*

Nombre científico: *Moringa oleifera* (Lam.)

(Fuente: Cáceres y Díaz (2005))



Figura 4. *Moringa oleifera* Lam.

4.5.2 Calidad nutricional

La evidencia científica indica que moringa, es una planta con potencial alimenticio, medicinal, químico, industrial y agrícola (Villarreal, 2014). Por ejemplo, las hojas se emplean para la producción de biogás (Fahey, 2005).

Estudios *in vitro* indicaron que los extractos de hojas, frutos y semillas de moringa, protegen las células del ser humano del daño oxidativo del ADN asociado con el envejecimiento, el cáncer y las enfermedades degenerativas. Las diferentes partes vegetativas de moringa contienen más de 40 compuestos con actividad antioxidante, tales como los compuestos fenólicos como el kaempferol y los ácidos gálico y elágico (Singh *et al.*, 2009).

Las hojas de moringa presentan actividad hipoglucemiante e hipotensiva, entre otras. También tiene la capacidad para curar disfunciones del sistema endocrino especialmente la tiroides (Tahiliani y Kar, 2000; Iqbal y Bhangar, 2006). El alto

contenido de vitaminas en las hojas la vuelve un recurso para el tratamiento de la diabetes (Martín *et al.*, 2013).

Además, se ha demostrado que esta planta contiene todos los aminoácidos esenciales para una vida sana (Fuglie, 2001). Es rica en varias sustancias muy peculiares, como glucosinolatos, isotiocianatos, flavonoides, antocianinas, proantocianidinas y cinamatos (Benett *et al.*, 2003).

Las hojas deshidratadas mantienen su contenido de vitamina A después de 90 días de almacenamiento (Seshadri *et al.*, 1997). La cantidad de proteína en las hojas frescas es dos veces más que la cantidad encontrada en flores y cuatro veces más que la de tallos (Sanchinelli, 2004). *M. oleifera* contiene vitaminas y minerales en mayor proporción que los alimentos comunes (González, 2009) que son empleados para la salud y nutrición humana (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores comparativos de vitaminas, minerales y proteínas por cada 100 g de moringa respecto a otros alimentos.

Alimento	Vitamina A (mg)	Vitamina C (mg)	Calcio (mg)	Potasio (mg)	Proteínas (mg)
Moringa	1130	220	440	259	6700
Zanahoria	315				
Naranjas		30			
Leche de vaca			120		3200
Plátano				88	

Fuente: Gopalan *et al.*, 1971.

En general, en el análisis proximal (valores por 100 g) de las diversas partes de la planta de moringa (hojas, vainas y semilla), se muestra un alto aporte de nutrimentos, especialmente de proteína (20.5%), grasa (27.2%), carbohidratos, energía (207 kcal), minerales y vitaminas, entre las cuales destacan valores significativos de calcio (6.2 mg), potasio (27.5 mg), hierro (5.4 mg), vitamina C (1.9 mg) y carotenos (343.6 ug como β -caroteno) (Alfaro y Martínez, 2008).

Folkard y Sutherland (1996) mencionaron que existe una gran variedad de productos elaborados a partir de la planta de moringa como: cápsulas genéricas,

chocolate en polvo, te, cápsulas de moringa con ginseng, cremas hidratantes, vainas frescas, refrigeradas y enlatadas para consumo humano, aceites, perfumes y otros en muchos países, incluido México. En estos productos destacan los altos contenidos de vitaminas y minerales, tales como: vitaminas A, B1, B2, B3, C y los minerales: calcio, cobre, cromo, hierro, magnesio, manganeso, fósforo, potasio y zinc, así como proteínas.

Además, cuenta con cantidades importantes de aminoácidos en sus hojas, flores y frutos que son las unidades básicas esenciales para la construcción de proteínas (Sánchez *et al.*, 2010).

4.5.3 Uso alimenticio

Las hojas, flores, frutos y raíces son apreciados por su valor nutritivo y pueden ser usados tanto en la alimentación humana como animal (Martín *et al.*, 2013; Nouman *et al.*, 2014). Pérez, (2010) afirmó que moringa es una opción para la producción de alimento de alto contenido proteico para la alimentación de ovinos, aves, peces y cerdos (Garavito, 2008).

El cultivo de moringa y la producción de biomasa se puede utilizar como forraje fresco para ganado con intervalos de corte de 35 y 45 días (Foidl *et al.*, 1999). La harina de hojas de moringa puede sustituir hasta un 20% a la proteína de la harina de sardina, sin afectar significativamente el crecimiento, el factor de conversión alimenticia y la supervivencia de juveniles de tilapia cultivada en agua de mar (Rivas, 2012).

Con las hojas se pueden preparar infusiones, ensaladas verdes, pastas para bocadillos, salsas, sopas o cremas, guisos, frituras, y aliños en general. Pueden ser mezcladas con jugos o cocteles de frutas, adicionarse a diferentes platillos enriqueciendo notablemente el valor nutricional en cuanto a proteínas, vitaminas y minerales (Bonal *et al.*, 2012).

Las flores cocinadas tienen un sabor que recuerda al de algunas setas comestibles. Las vainas tiernas son muy apreciadas en la India; se preparan del mismo modo que las habichuelas y su sabor es parecido al de los espárragos (Martín *et al.*, 2013).

5. LITERATURA CITADA

- Aguirrezábal, L. A. N., Orioli, G. A., Hernández, L. F., Pereyra, V. R. y Miravé, J. P. 2001. Girasol Aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento. Buenos Aires. Argentina.
- Alfaro, N. C. y Martínez, W. 2008. Rendimiento y uso potencial de *moringa oleifera* Lam. en la producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario-nutricional de Guatemala, proyecto fodecyt no. 26-2006. Guatemala. 1-31 p.
- Arnold, M. y Osorio, F. 1998. Introducción a los conceptos básicos de la teoría general de sistemas Cinta moebio 3:40-49. <http://www.revistas.uchile.cl/index.php/CDM/article/viewFile/26455/27748>
- Arnold, M. y Rodríguez, D. 1990. El Perspectivismo en la Teoría Sociológica". Revista Estudios Sociales (CPU). Santiago. Chile. 64. <https://ingindustrialivh.files.wordpress.com/2009/04/unidad-3-de-sistemas.doc>
- Ates, E., L. Coskuntuna, y Tekeli, A. S. 2010. Efectos de la etapa de crecimiento de la planta en el rendimiento, el valor alimenticio y algunos caracteres morfológicos de la facelia (*Phacelia tanacetifolia* Benth.). Revista Cubana de Ciencia Agrícola 44(4):433-436.
- Bennett R. N., Mellon, F. A., Foidl, N., Pratt, J. H., Dupont, M. S., Perkins, L., and Kroon, P. A. (2003). Profiling glucosinolates and phenolics in vegetative and reproductive tissues of the multi-purpose trees *Moringa oleifera* Lam. (horseradish tree) and *Moringa stenopetala* L. Journal Agricultural Food Chemistry. 51(12):3546–3553. DOI: 10.1021/jf0211480
- Bertalanffy, L. V. 1968. Teoría general de los sistemas. México: Fondo de Cultura Económica, 1976. 336pp.
- Blanco, Y. y Leyva, Á. 2007. Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. Cultivos Tropicales 28(2):21-28.
- Bonal, R. R., Rivera, O. R., y Bolívar, C. M. 2012. *Moringa oleifera*: una opción saludable para el bienestar. MEDISAN 16(10):1596-1599.
- Cáceres A., Saravia, A., Rizzo S., Zabala, L., Leon, E. D., and Nave, F. 1992. Pharmacologic properties of *Moringa oleifera*: 2: Screening for antispasmodic,

- anti-inflammatory and diuretic activity. *Journal Ethnopharmacology* 36(3):233–237.
- Camberos, C. M. 2000. La seguridad alimentaria de México en el año 2030. *Ciencia Ergo Sum* 7(1):49-55.
- Casanova, L. P., Martínez, J. P. D., López, S. O., Landeros, C. S., López, G. R. y Olvera, B. P. 2015. Enfoques del pensamiento complejo en el Agroecosistema. *Interciencia* 40(3):210-216.
- Chiavenato, I. 2004. *Introducción a la teoría general de la administración*. McGraw-Hill. Séptima Edición.
- COOPSOACHA. 2015. Moringa de coopsoacha cultivos integrales. Disponible en: <http://moringadecoopsoacha.blogspot.mx/>
- CONEVAL. 2010. Dimensiones de la seguridad alimentaria: Evaluación Estratégica de Nutrición y Abasto. <http://docplayer.es/15671059-Dimensiones-de-la-seguridad-alimentaria-evaluacion-estrategica-de-nutricion-y-abasto.html>
- Del Toro, J. J. M., Carballo, A. H. y Rocha, L. R. 2011. Valoración de las propiedades nutricionales de *Moringa oleifera* en el departamento de Bolívar. *Revista de Ciencias* 15: 23-30.
- Escalante, E. J. A. y Kohashi, S. J. 1993. El rendimiento y crecimiento de frijol. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 84 pp
- Fahey, J. W. 2005. *Moringa oleifera*: A Review of the Medical Evidence for Its Nutritional, Therapeutic, and Prophylactic Properties. Part 1. <http://www.treesforlife.org/our-work/our-initiatives/moringa>
- Falasca, S. y Bernabé M. A. 2008. Potenciales usos y delimitación del área de cultivo de *Moringa oleifera* en Argentina. Disponible en: http://api.ning.com/files/zlToq5jvxOn7za5bxe0jeeDaRIh0Qkl5gz8YZv0M14Y26PAYaa9v2UyA9wryKzDMyfl*GioYzUp8n4wbrjA*6kkldYMeaxm2/MoringainvestigacinArgentina.pdf
- FAO, 2006. Seguridad alimentaria. ftp://ftp.fao.org/es/esa/policybriefs/pb_02_es.pdf
- FAO. 2013. Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe. 73. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/019/i3520s/i3520s.pdf>
- FAO. 2015. Faostat. Disponible: <http://www.fao.org/statistics/es/> Consultado mayo 2015
- FAO. 2016. La biodiversidad para el mantenimiento de los agroecosistemas. Disponible en: ftp://ftp.fao.org/paia/biodiversity/agroeco_biod_es.pdf. Consultado el 01 mayo 2016.
- FAO. 2016. Factores ambientales. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/x8234s/x8234s08.htm> consultado el: 28 julio 2016.

- Farooq F., Rai, M., Tiwari, A., Arif, A. K. and Farooq, S. 2012. Medicinal properties of *Moringa oleifera*: An overview of promising healer. Journal of Medicinal Plants Research 6(27):4368-4374.
- Foild, N. S., Mayorga, L. y Vásquez, W. 1999. Utilización del marango (*Moringa oleifera*) como forraje fresco para el ganado. Conferencia de la FAO sobre agroforestería para la producción animal en América Latina. <http://www.fao.org/docrep/014/x1213s/x1213s.pdf>
- Folkard, G. K. and Sutherland, J. P. 1996. *Moringa oleifera*: a tree and a litany of potential. Agroforestry Today. 8(3):5-8.
- Frederick, J. R. y Bauer, P. J. 1999. Physiological and Numerical Components of Wheat Yield, en Satorre, E. H. y G. A. Slafer (eds.). Wheat, Ecology and Physiology of Yield Determination. Food Products Press, Nueva York.
- Fuglie, L. J. 2001. The Miracle Tree: *Moringa oleifera*: natural nutrition for the tropics, (Church World Service, Dakar, 1999). pp: 68. Revised in 2001 and published as The Miracle Tree: The Multiple Attributes of Moringa, pp: 172
- Garavito, U. 2008. *Moringa oleifera*, alimento ecológico para ganado vacuno, porcino, equino, aves y peces, para alimentación humana, también para producción de etanol y biodiesel. Corporación Ecológica Agroganadera S.A. Colombia. Disponible en <http://www.engormix.com/MA-avicultura/nutricion/articulos/moringa-oleifera-t1891/141-p0.htm#> = (Consultado el 05 mayo 2015).
- Gliessman, S. R. 2001a. Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible. CATIE, Turrialba.
- González, G. N. 2009. Datos generales sobre las propiedades nutricionales y medicinales de la planta *Moringa oleifera*, La Habana: Instituto Finlay.
- Gómez, A. S. 2012. Evaluación de los ecosistemas del milenio de España. Disponible en: <http://www.ecomilenio.es/wp-content/uploads/2012/03/17-Agroecosistemas-web.pdf> Consultado en 01 mayo 2016.
- Gopalan, C., Ramasastri, B. R. and Balasubramanium, S. C. 1971. Proximate principles minerals and vitamins Nutritive value of Indian Foods. Nutritive Value of Indian Foods. National Institute of Nutrition, 60-115.
- Goss, M. 2012. A study of the initial establishment of multi – purpose moringa (*Moringa oleifera* Lam.) at various plant densities, their effect on biomass accumulation and leaf yield when grown as vegetable. African Journal Plant Science. 6(3):25-129. DOI: 10.5897/AJPS11.259
- Greco, S. y Tonoll, A. 2012. Agroecosistemas. Agroecología y Ambientes Rurales Ingeniería en Recursos Naturales Renovables UNCuyo 19 p http://campus.fca.uncu.edu.ar/pluginfile.php/11356/mod_resource/content/0/Agroecosistemas2012.pdf

- Gutiérrez, R. M., Reynolds, M. P., Escalante, J. A., y Larqué, S. A. 2005. Algunas consideraciones en la relación entre fotosíntesis y el rendimiento de grano en trigo. *Ciencia Ergo Sum* 2(2):149-154
<http://www.redalyc.org/pdf/104/10412206.pdf>
- Haro, M. A. B. 2015. Estudio de prefactibilidad para la producción de harina de moringa como suplemento alimenticio del sector pecuario en la provincia de el oro. Tesis para obtener el grado de economista pecuario. Universidad de Machala. Ecuador.
http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/2013/1/CD775_TESIS.pdf
- Hart, R. D. 1985. Conceptos básicos sobre agroecosistemas. CATIE. Costa Rica. 159 pp
- Isah, A. D., Bello, A. G. and Zarumaye, S. A. 2014. Effects of cutting heights and interval of cutting on the yield of *Moringa oleifera* (horse raddish). *International Journal of Development and Sustainability* 3 (5): 1147-1151.
- Iqbal, S. and Bhangar, M. I. 2006. Effect of season and production location on antioxidant activity of *Moringa oleifera* leaves grown in Pakistan. *Journal of Food Composition and Analysis* 19: (6) 544–551.
- Johansen, O. B. 2004. Introducción a la Teoría General de Sistemas. Limusa, México, 168 p
https://books.google.es/books?id=4bVvTLvHVzMC&pg=PA3&hl=es&source=gs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false
- López, H. U. J. 2014. Evaluación de tres densidades del cultivo de *Moringa oleifera*, en el suroccidente de Guatemala. Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Universidad Rafael Landívar, Salvador
<http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2014/06/17/Lopez-Uri.pdf>
- Martín, C., Martín, G., García, A., Fernández, T., Hernández, E. y Jurgen, P. 2013. Potenciales aplicaciones de *Moringa oleifera*. Una revisión crítica. *Pastos y Forrajes* 36(2):137-149.
- Martínez, J. I. y Villezca, B. P. A. 2005. La alimentación en México: Un estudio a partir de la encuesta nacional de ingresos y gastos de los hogares y de las hojas de balance alimenticio de la FAO. *Ciencia UANL* 3(1): 197-208.
- Martínez, S. y Requena, A. 1986. Dinámica de sistemas: Simulación por ordenador y modelos. Alianza editorial, Lb 1183 y 1184, Madrid.
- Muhl, Q. E., Toit, E. S. and Petrus, J. R. 2011. Adaptability of *Moringa oleifera* Lam. (Horseradish) Tree Seedlings to Three Temperature Regimes. *American Journal of Plant Sciences* 2:776-780.

- Nouman, W., Basra, S.M.A., Siddiqui, M.T., Yasmeen, A., Gull, T., and Alcayde, M. A. C. 2014. Potential of *Moringa oleifera* Lam. as livestock fodder crop: a review. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 38(1):1–14.
- Olson, M. E. y. Razafimandimbison, S. G. 2000. *Moringa hildebrandtii*: A tree extinct in the wild but preserved by indigenous horticultural practices in Madagascar. Adansonia 3 22:217–221.
- Olson, M. E. y J. Fahey, W. 2011. *Moringa oleifera*: Un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. Revista Mexicana de Biodiversidad 82:1071-1082.
- Pérez, R. Á., De la Cruz, J. O. B., Vázquez, E. G. y Obregón, J. F. 2010. *Moringa oleifera*, una alternativa forrajera para Sinaloa. www.fps.org.mx
- Ramírez, C. L. A. 2002. Teoría de sistemas, Universidad Nacional de Colombia. <https://es.scribd.com/doc/135617675/Teoria-de-Sistemas-pdf>
- Reyes S., N. 2004. Marango: cultivo y utilización en la alimentación animal. Guía técnica. Universidad Nacional Agraria, Managua, NI. - See more at: <http://repositorio.una.edu.ni/2410/#sthash.PaUTHO6E.dpuf>
- Rico, A. D. S. 2013. Efecto de la intensidad de podas sobre la producción de biomasa en hojas de *Moringa oleifera*. Tesis para obtener el diploma de especialidad en ingeniería de invernaderos. Universidad Autónoma de Querétaro, México. <http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/1924/1/RI001236.pdf>
- Rivas, V. M., López, P.J., Miranda, B. A., y Sandoval, M. 2012. Sustitución parcial de harina de sardina con *Moringa oleifera* en alimentos balanceados para juveniles de tilapia (*Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis niloticus*) cultivada en agua de mar. Biotecnia 14(2): 3-10.
- Rodríguez, D. y Arnold, M. 1991. Sociedad y Teoría de Sistemas. Editorial Universitaria. Santiago. Chile.
- SAGARPA. 2014. Promueve INIFAP cultivo de moringa, especie con altas propiedades nutricionales y energéticas. Disponible: <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2014B1018.aspx> (consultado el 22 de abril 2016).
- Sánchez, D. I. M., Núñez, J. A. G., Reyes, C. M., Ramírez B. W. and J. López C. 2010. Nutritional quality of edible parts of Moringa. Food Analytical Methods 3(3): 175-180.
- Sans, F. X. 2007. La diversidad de los agroecosistemas. Ecosistemas 16(1):44-49.
- Sarabia, A. A. 1995. La teoría General de Sistemas. 4ª edición ISDEFE. España. 171 pp.
- Sarandón S. J. 2002. El agroecosistema: un sistema natural modificado. Agroecología: El camino para una agricultura sustentable. Ediciones científicas americanas, la Plata, Argentina. 13 pp.

http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/12482/mod_resource/content/0/2012/Cap4-Agroecosistemas- Sarandon 1 1 .pdf

- Sanchinelli, K. 2004. Contenido de proteína y aminoácidos y generación de descriptores sensoriales de los tallos, hojas y flores de *Moringa oleifera* Lamarck (Moringaceae) cultivada en Guatemala. Tesis de grado. Nutricionista. Guatemala: Universidad de San Carlos. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
- Santos, A. F., Argolo, A. C., Paiva, P. M., and Coelho, L. C. 2012. Antioxidant activity of *Moringa oleifera* tissue extracts. *Phytotherapy Research* 26(9):1366-1370.
- Seshadri, S., Jain, M. and Dhabhai, D. 1997. Retention and storage stability of beta- carotene in dehydrated drumstick leaves (*Moringa oleifera*). *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 48:373-379.
- Shamah, T. L., Amaya, M. A. y Cuevas, L. N. 2015. Desnutrición y obesidad: doble carga en México. *Revista Digital Universitaria* 16(5):1-17. <http://www.revista.unam.mx/vol.16/num5/art34/index.html>
- Singh, B. N., Singh, B. R., Singh, R. L., Prakash, D., Dhakarey, R., Upadhyay, G. G. and H. Singh B. 2009. Oxidative DNA damage protective activity, antioxidant and anti-quorum sensing potentials of *Moringa oleifera*. *Food and Chemical Toxicology* 47(6): 1109–1116.
- Soriano, A., y Aguiar, M.R. 1998. Estructura y funcionamiento de agroecosistemas. *Ciencia e Investigación* 50:63-74.
- Standley, P. y Stermarck, J. 1946. *Flora de Guatemala*. Chicago, USA: Fieldiana Botany. 493 pp.
- Tahiliani, P. and Kar, A. 2000. Role of *Moringa oleifera* leaf extract in the regulation of thyroid hormone status in adult male and female rats. *Pharmacological Research* 41(3):319-23.
- Toral, O. y Iglesias, J. 2007. Efecto de la poda en el rendimiento de biomasa de 20 accesiones de especies arbóreas. *Pastos y Forrajes* 30(3):341-355.
- Verdcourt, B. 1985. A synopsis of Moringaceae. *Kew Bulletin* 40:1-23.
- Villarreal, G. A. y Ortega, A. K. J. 2014. Revisión de las características y usos de la planta *Moringa oleifera*. *Investigación & Desarrollo* 22(2):309-330. <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/investigacion/article/view/6272/6331>
- Zeng, B. 2001. Pruning Chinese trees: an experimental and modelling approach. Thesis to obtain the degree of Ph. D. department of plant Ecology. Disponible: <http://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/208/inhoud.htm;jsessionid=C92046AE04A9AB7FF1C26FE16A43F082?sequence=26>

CAPÍTULO I. *Moringa oleifera* LAM.: ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

Resumen

Moringa oleifera Lam. es un árbol originario del sur del Himalaya, actualmente cultivada en muchos países subtropicales por su plasticidad agroecológica. Sus usos son diversos e incluyen desde alimenticios, medicinales, industriales, energéticos, floculantes, bioabsorbente de tóxicos y hasta materia prima para la elaboración de suplementos alimenticios. El objetivo de este ensayo fue revisar el estado del arte de esta especie, particularmente en los aspectos agronómicos. Los resultados indicaron que en los últimos 11 años se han publicado 1465 trabajos de investigación, de los cuales México ha contribuido con el 3.4%. El 35.8% de las publicaciones corresponden al área de ciencias agrícolas y biológicas. El 87% de los trabajos publicados son artículos científicos; el primer lugar en publicaciones lo ocupa la India. El año 2014 fue el más productivo con 240 trabajos publicados en el tema, teniendo una baja en el 2015 con 230 investigaciones y un incremento notable en tres meses de 2016. Se concluye que moringa es una planta que tiene importancia mundial, de ahí la alta productividad científica en esta especie.

Palabras clave: *Moringa oleifera* Lam., multipropósito, alimenticio, agronómico, bioenergético, medicinal.

CHAPTER I. *Moringa oleifera* LAM.: ANALYSIS OF STATE OF THE ART

ABSTRACT

Moringa oleifera Lam. is a tree native to southern Himalayas now cultivated in many subtropical countries due its agro-ecological plasticity. Its uses are diverse and include food, medicine, industry, energy, flocculant, bioabsorbent and feedstocks for the elaboration of dietary supplements. The objective of this essay was to analyse the state of the art of this plant, particularly on agronomics issues. The results showed that in the last 11 years have been published 1465 papers, of which Mexico has contributed with 3.4%. The 35.8% of the publications are in the area of agriculture and biological sciences. The 87% of the publications are scientific papers; the first place in publications is held by India. The year 2014 was the most productive with 240 papers on moringa, with a drop in 2015 with 230 papers and a notable increase in the first three months of 2016. It is concluded that Moringa is plant with worldwide importance; hence high scientific productivity in the is a plant is being published.

Keywords: *Moringa oleifera* Lam., multipurpose, food, agronomic, bioenergetic, medicinal.

1.1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha incrementado la investigación en *Moringa oleifera* Lam. planta a la que se le conoce como “el árbol de la vida” (Fahey, 2005). En México a esta planta se le conoce comúnmente como moringa (Liñan, 2010). Esta planta es originaria del sur del Himalaya (Foild *et al.*, 1999), aunque se ha extendido su cultivo prácticamente a todos los países con clima tropical y subtropical. Su importancia radica en su alto potencial alimenticio (Ogunsina *et al.*, 2014) y medicinal (González, 2009).

En México la introducción de moringa se dio en la época de la colonia, durante los viajes de Nao de China, pero los primeros cultivos experimentales en el país se realizaron en la década de 1950-1960 (Olson y Fahey, 2011). Sin embargo, ha sido en los últimos 11 años que se ha incrementado la superficie cultivada con fines comerciales (Inforganic, 2007; Olson y Fahey, 2011). Además, año con año se celebra un evento científico sobre esta especie en la Universidad Autónoma de Nuevo León (Olivares, 2015). Además, diversos productos derivados de moringa se han introducido en el mercado, particularmente en tiendas de productos naturistas, en forma de capsulas o té (Meléndez y Miranda, 2011). Estos usos y su valor comercial hacen que este cultivo exótico sea valorado como una opción económica, alimenticia y medicinal por la población mexicana. Esta investigación tuvo como propósito revisar las diversas investigaciones publicadas en revistas y memorias científicas sobre esta planta tanto nacionales e internacionales y discutir los temas relevantes en el área de agronomía. A continuación, se expone el estado del arte de esta planta como cultivo y como especie biológica.

1.2. METODOLOGÍA

El desarrollo de este ensayo implicó la consulta de las bases bibliográficas: Scielo, Redalyc, Springer, Elsevier, Scopus y Sciencedirect. La búsqueda estuvo dirigida a encontrar los diversos trabajos científicos publicados en los últimos 11 años. Las palabras clave para la búsqueda fueron: *M. oleifera*, usos, cultivo, beneficios de la planta, origen, distribución, manejo y rendimiento. Con base en esta búsqueda se obtuvo un total de 1465 publicaciones, las cuales incluyen artículos científicos y tesis de grado. Los trabajos se separaron de acuerdo a los tópicos siguientes: bioenergético, medicinal, alimenticio, agrícola, bioabsorbente, floculante. El tema agrícola se separó en los temas de: prácticas agronómicas, asociación con otros cultivos y producción de biomasa.

Los temas se analizaron comparando las investigaciones realizadas por tópico y por tema en el área agrícola. Además, de los trabajos publicados internacionalmente y en México en cada tópico, resaltando los aportes más significativos en cada área del conocimiento particularmente en temas de agronomía. Se realizó un análisis cuantitativo comparando tipo de investigaciones, años con mayor productividad de publicaciones y temas de frontera en el área de agronomía.

1.3. RESULTADOS

1.3.1. Estudios a nivel internacional

Entre los años 2005-2015 se han publicado alrededor de 1465 trabajos entre los que se incluyen libros, notas científicas, ensayos, revisiones, resúmenes de congresos y artículos científicos ocupando este último el primer lugar con un 87% (Figura 5).

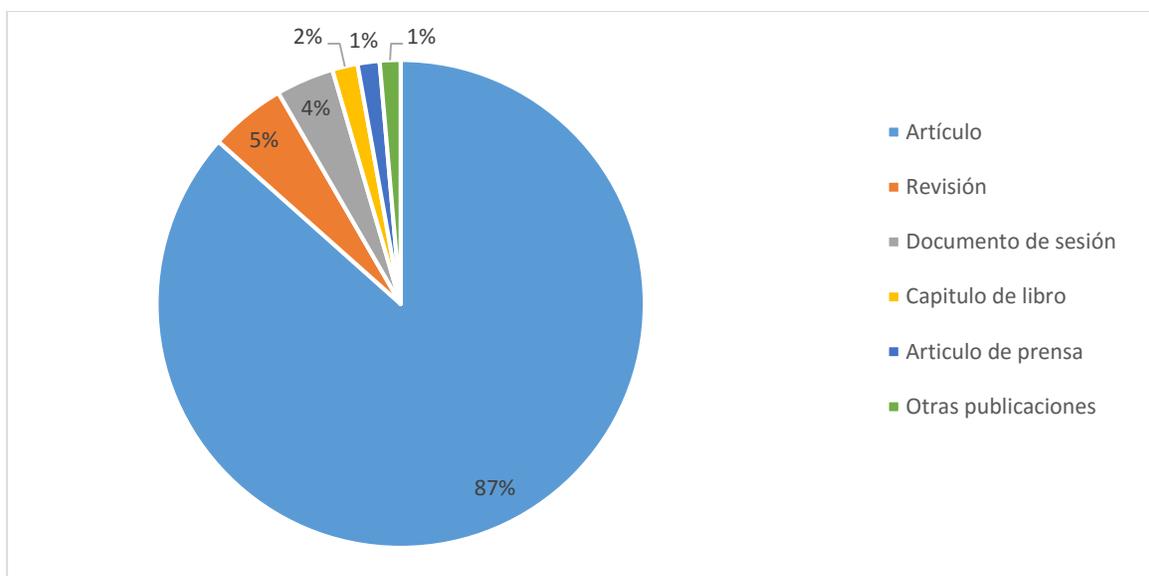


Figura 5. Tipos de documentos publicados en el tema de *M. oleifera* (Scopus, 2015).

La Figura 6 muestra las investigaciones realizadas en moringa en los diferentes campos del conocimiento sobresaliendo el área de las ciencias agrícolas y biológicas con 525 publicaciones (35.83%); en segundo lugar, las relacionadas con farmacología, toxicología con 366 publicaciones (24.98 %) y en tercer lugar, con 325 (22.18%) publicaciones de usos medicinales. Alrededor de 98 países reportaron estudios de moringa, ubicándose México en el lugar número 22, en cuanto a número de publicaciones. La India ocupa el primer lugar con un total de 508 trabajos (34.67%) y con una mayor productividad en el año 2014 con 84 publicaciones, con énfasis en cuestiones toxicológicas y farmacéuticas. En segundo lugar, se ubica Nigeria con 120 publicaciones (8.19%), el 50% de ellas relacionadas con las ciencias agrícolas y biológicas, particularmente sobre su uso en la suplementación de la alimentación animal o para la prevención de enfermedades, la utilización del aceite de la semilla como plaguicida, evaluación de diferentes dosis de fertilizantes y caracterización morfológica. En tercer lugar, se ubica Brasil con 106 publicaciones (7.23%), la mayoría realizadas en las áreas de ciencias agrícolas y biológicas, ciencias ambientales y químicas. Entre las investigaciones más importantes resaltan el empleo del extracto de las semillas como floculante para el tratamiento de aguas residuales.

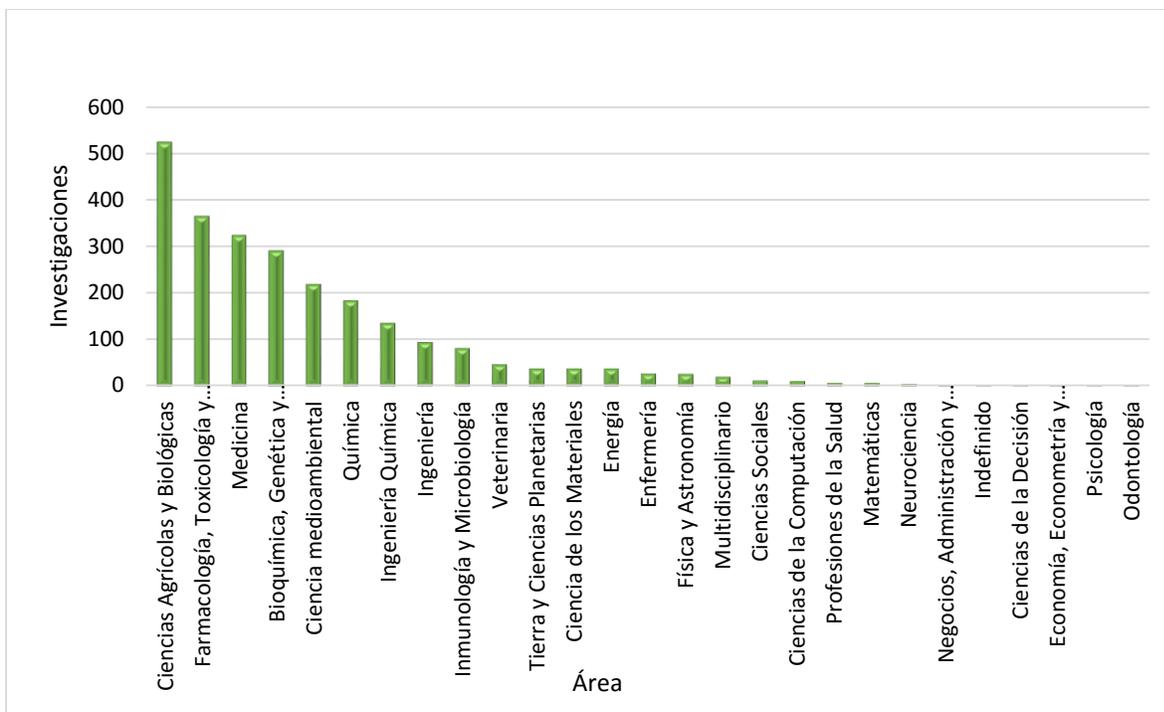


Figura 6. Principales temas investigados de *M. oleifera* a nivel internacional.

De los 1273 artículos publicados para el periodo 2005-2015, el más citado corresponde a “*Moringa oleifera* Lam. oil: A possible source of biodiesel” con 190 citas, seguido de “*Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods*” con 173 citas (Figura 7).

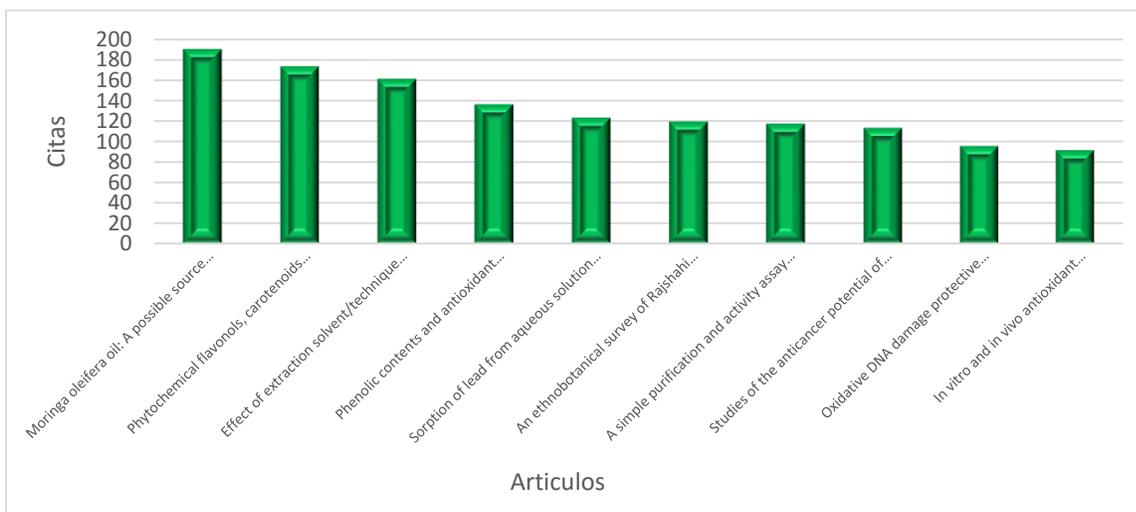


Figura 7. Artículos de *M. oleifera* más citados a nivel internacional.

1.3.2. Estudios realizados en México

A pesar de que moringa llegó a América desde la colonia (Valdés *et al.*, 2014) se puede afirmar que ha sido poco estudiada debido a que ha tenido muy poca difusión acerca de sus propiedades alimenticias y medicinales. A la fecha se han registrado 50 publicaciones, de las cuales sólo 21 artículos aparecen en la base de Scopus; el resto de artículos, tesis de diferentes grados académicos y resúmenes en memorias científicas se encuentran en bases como Scielo, Redalyc, bibliotecas digitales entre otras bases de datos.

La Figura 8 muestra la productividad científica sobre moringa en México, evidenciando que los temas más investigados son los agronómicos, esto es: manejo agronómico, productividad, fertilización y asociación con otros cultivos (Pérez *et al.*, 2010; Madrigal y Herrera, 2012; Ramos *et al.*, 2015; Rico, 2013; Valdés *et al.*, 2014). Cabe destacar que algunas de estas investigaciones han sido pioneras para el establecimiento de moringa como cultivo en diversas zonas del país para el aprovechamiento de su biomasa con usos alimenticios.

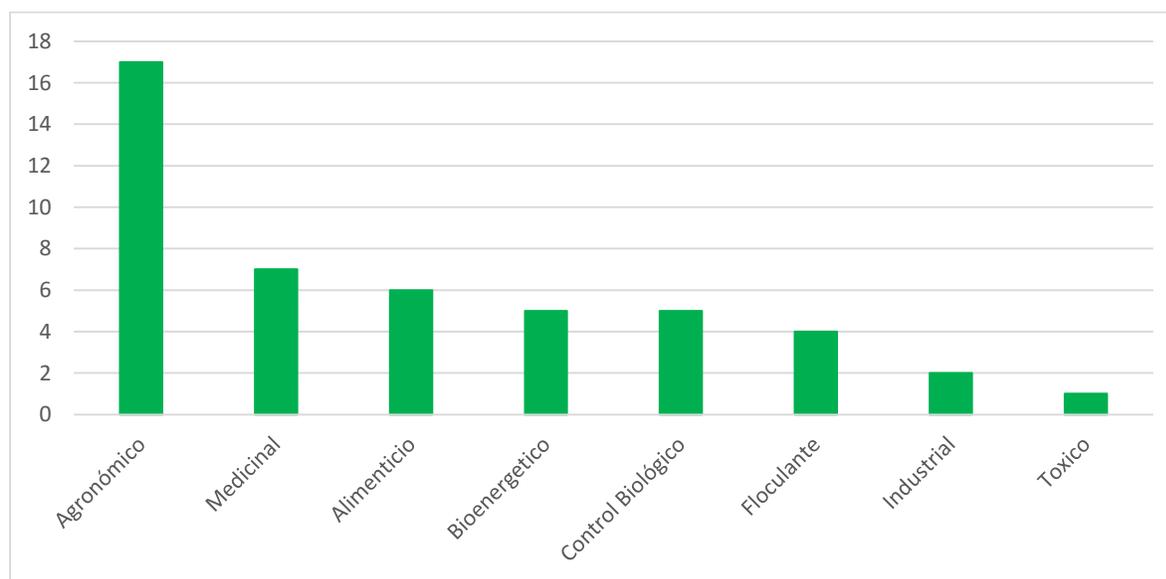


Figura 8. Temas investigados sobre *M. oleifera* en México (Elaboración propia).

En México es necesario realizar investigaciones relacionadas con la adaptación de cultivares de moringa en diferentes zonas agroecológicas. Es decir, se requiere analizar

la respuesta de cultivares de moringa a diferentes tipos de suelo clima y manejo en la producción de biomasa y semilla. Además, determinar la época del año en que se puede obtener mayor producción y calidad nutritiva del follaje en función de prácticas agronómicas (podas, fertilización, densidades de siembra, etc.). Realizar análisis bromatológicos para conocer la cantidad de principios bioactivos contenidos en las diferentes partes de las plantas (hojas, flores, frutos, semillas y raíz) y evaluar el mejor método para la conservación de la biomasa (fresca y seca) de esta planta multipropósito. Así como estudiar la aceptación de esta planta como complemento alimenticio humano y animal y su uso para el tratamiento de diversas enfermedades en la población humana y animal.

1.3.3. Investigaciones en el área de medicina

El tema de uso medicinal de moringa es uno de los temas más investigados a nivel mundial, ocupando el tercer lugar en orden de publicaciones. La Figura 9 muestra los principales usos medicinales de moringa en temas como: cáncer, diabetes, estrés, infecciones, desnutrición, cicatrización, úlceras, fibrosis, enfermedades cardiovasculares y virales entre otras (Popoola *et al.*, 2013; Kesharwani *et al.*, 2014; Upadhyay *et al.*, 2015). Cabe resaltar que el mayor número de trabajos se enfocan a la determinación del contenido y funcionamiento de sus antioxidantes para la prevención de enfermedades, ya que esta planta contiene más de 40 compuestos con actividad antioxidante (Singh *et al.*, 2009), a los que se les atribuyen efectos beneficiosos en la salud humana, como es el tratamiento y prevención del cáncer y enfermedades cardiovasculares.

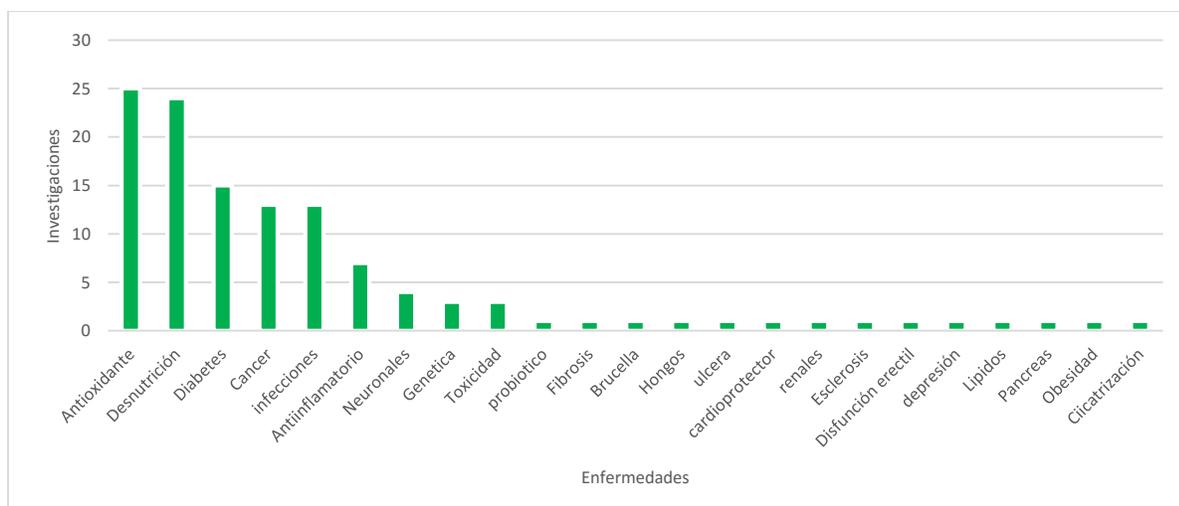


Figura 9. Principales enfermedades tratadas con moringa (Elaboración propia).

1.3.4. Publicaciones a nivel nacional

En México se han reportado ocho trabajos de uso potencial de moringa como planta medicinal, básicamente alimenticio por su alto contenido de antioxidantes y valor proteico (16.8 a 25.4% de proteína cruda). Las propiedades que se le atribuyen pueden deberse a la gran cantidad de aminoácidos que contienen sus hojas (Sánchez *et al* 2006; Oduro *et al.*, 2008; Duarte, 2012; Márquez, 2013; Torres, 2013; Suárez *et al.*, 2013; Espinoza, 2015; García *et al.*, 2015) y una alta capacidad antimicrobiana (Castañeda *et al.*, 2014). También se reportan investigaciones en el tratamiento de enfermedades de bovinos como la mastitis, que produce una disminución y pérdida en la calidad de la leche (Castañeda *et al.*, 2014).

1.3.5. Investigaciones en el área agronómica y en ciencias biológicas

En el área agronómica y ciencias biológicas, las investigaciones realizadas están relacionadas con fertilización, fisiología vegetal, producción de biomasa, asociación con otros cultivos y caracterización morfológica sumando un total de 525 publicaciones a nivel internacional. La publicación mayormente citada se refiere al uso de moringa como

forraje, donde se incluye la producción de biomasa en alta densidad y la determinación del contenido de proteína en hoja y fruto (Figura 10) (Nouman *et al.*, 2013). Esta característica evidencia que es una alternativa viable en la alimentación animal, siempre y cuando exista un balance nutricional (Murrieta, 2014). Por ejemplo, en el caso de los bovinos mejora su digestibilidad, aumenta la producción de leche y no altera la composición de ésta (Reyes *et al.*, 2006).

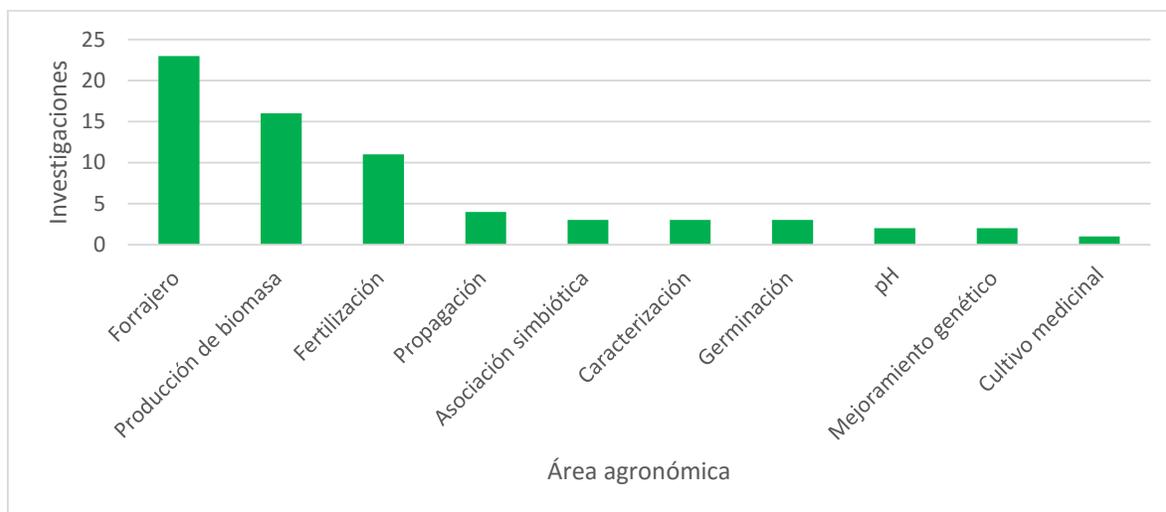


Figura 10. Principales trabajos realizados en el área agronómica en *M. oleifera* a nivel internacional.

Moringa contiene una hormona que permite incrementar el rendimiento de otros cultivos de un 25 hasta 30% (Fugliee, 2000). Los temas que poco se han profundizado son acerca de la posible toxicidad del tallo y la raíz.

1.3.6. Publicaciones a nivel nacional

A nivel nacional se han registrado 22 trabajos que mencionan a moringa como una planta con potencial para la producción de alimento fresco y disponible durante todo el año, ya sea para consumo humano o animal. Estos trabajos van desde el manejo de la semilla, propagación sexual o asexual en vivero y en campo abierto, asociación con otros cultivos como *Ricinus comunnis*, *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* (Coromoto, 2011; Valdés *et al.*, 2014). Además de la aplicación de hongos para un mejor aprovechamiento

de los nutrimentos del suelo, diferentes densidades de siembra, podas a diferentes alturas y frecuencias, manejo postcosecha y determinación del rendimiento bajo diferentes niveles de fertilización y manejo (Pérez *et al.*, 2010; Rico *et al.*, 2013; Valdés *et al.*, 2014; Ramos, *et al.*, 2015). Estas investigaciones han aportado conocimiento para el cultivo y uso comercial de esta planta en México.

Moringa y leucaena pueden asociarse como cultivo, pero comparándolas de acuerdo a su comportamiento agronómico moringa presenta mayor adaptabilidad y es mucho más productiva.

Cuadro 2. Comparación de *Moringa oleifera* Lam. y *Leucaena leucocephala*.

Características	<i>Moringa oleifera</i> Lam.	<i>Leucaena leucocephala</i>
Crecimiento	Rápidamente alcanza una altura de 7 a 12 m (Reyes, 2004)	Crece hasta 3 m de altura. La falta de humedad edáfica puede reducir el crecimiento (Solorio y Solorio, 2008).
Requerimientos climatológicos	Se adapta a un amplio rango de suelos y climas (Cobas, 2004).	Se desarrolla bien con precipitaciones entre los 350 y 3500 mm/año, y temperatura media anual de 20 a 30 °C. No resiste las heladas; ni suelos ácidos o muy arcillosos, propensos a inundaciones prolongadas o suelos compactados (Solorio y Solorio, 2008).
Propagación	Sexual y asexual (Birmania, 2013).	Sexual (Birmania, 2013).
Forraje	Las hojas son uno de los forrajes más completos y de buena palatabilidad. Hojas y tallos tiernos son ávidamente consumidas por todo tipo de animales: ruminantes, cerdos, aves, y peces herbívoros (Birmania, 2013).	El follaje es muy apetecido por el ganado bovino, ovino y caprino. Puede incluirse en pequeñas cantidades en raciones para conejos (Birmania, 2013). Contiene de 19-30% de proteína cruda y rendimientos de hojas y tallos tiernos de cerca de 10 t MS/ha (García <i>et al.</i> , 1994).
Cortes	Soporta cortes cada 45 días (Wagner y Colón 2007).	Los cortes de 45 y 60 días afectan el rendimiento y la persistencia de la planta, eliminando las plantas paulatinamente (Wagner y Colón 2007). El primer pastoreo debe realizarse hasta que la planta alcance 1 a 1.5 m de altura. El intervalo entre pastoreo es de alrededor de 40 días (Di Niro, 2007).
Antinutrientes	Los niveles de antinutrientes, como taninos y saponinas, son mínimos. La materia seca contiene un 10% de azúcares y de 9.5 MJ/kg de energía metabolizable (Foild <i>et al.</i> , 2009).	Dietas mayores al 40% pueden aparecer síntomas de intoxicación por mimosina, sustancia tóxica que reduce el consumo voluntario de los animales, baja la ganancia de peso y produce la caída de pelo (Pachas, 2011).
Nutrimientos	Puede presentar hasta de 23.4 al 30% de proteína en sus hojas (Sánchez <i>et al.</i> , 2013). Tiene altos contenidos de vitaminas (A, B1, B2, B3 y C), minerales (calcio, cobre, cromo, hierro, magnesio, manganeso, fósforo, potasio y zinc) y proteínas.	Presenta hasta un 25% de proteína y con una digestibilidad de la materia seca de 61 - 66% (Di Niro, 2007). El aporte excesivo de proteína cruda a la dieta pudiera ocasionar trastornos metabólicos a los animales (Barros <i>et al.</i> , 2012).
Densidades	La densidad óptima es de 250 mil plantas por hectárea, obteniendo un rendimiento de 80 t ha ⁻¹ (Pérez, 2010).	Densidades de siembra menor a 40 000 plantas no afecta los rendimientos (Barros <i>et al.</i> , 2012).

Elaboración propia.

1.3.7. Alimento humano

Existen 203 publicaciones en la literatura internacional y siete en México de moringa con uso alimenticio. Se dividen respecto a su contenido nutricional y su uso como alimento tradicional. Como alimento tradicional se debe a que es una fuente barata con alto contenido proteico, carbohidratos, vitaminas, minerales y fibra. Su uso alimenticio contribuye a mejorar la dieta de la gente y es principalmente empleada en países como Nigeria y la India (Martin, 2012). La forma de consumo puede ser en fresco o como harina, adicionada a los alimentos (Nwakalor, 2014). Pocas plantas se comparan con el perfil nutricional de moringa. Además, tiene un rápido crecimiento, alta producción de biomasa (hojas) y se adapta a diferentes tipos de climas, particularmente a regiones tropicales y subtropicales del mundo (Martín *et al.*, 2013).

A nivel mundial, diversas comunidades rurales dependen de las plantas silvestres comestibles para satisfacer necesidades alimenticias de energía, proteína y micronutrientes a lo largo del año (Thurber y Fahey 2010; Santos *et al.*, 2012). Esta planta, representa hoy día un alimento potencial para muchas comunidades rurales del trópico subhúmedo de México, incluso en la alimentación animal (Haro, 2015).

El Cuadro 3 muestra el valor alimenticio de esta planta, la cual puede suplir los requerimientos nutrimentales necesarios para una dieta saludable (Ramaroson *et al.*, 2015). La formulación de platillos con moringa es muy atractiva y constituye una alternativa para incrementar el valor nutritivo de la alimentación diaria en familias que presentan algún grado de desnutrición (Vásquez, 2004; Alfaro y Medina, 2008).

Cuadro 3. Contenido de aminoácidos (mg por g de peso seco) de las partes comestibles de *Moringa oleifera* Lam.

Aminoácidos	Hojas	Frutos inmaduros	Flores
Asparagina	15.8	7.4	12.3
Glutamina	17.1	14.6	17.0
Serina	9.4	7.5	7.5
Histidina	7.0	2.0	3.1
Glicina	10.3	4.3	6.5
Treonina	7.9	3.3	5.4
Alanina	12.5	4.2	8.1
Prolina	12.4	4.0	6.6
Tirosina	4.8	0.4	0.4
Arginina	12.2	8.1	20.1
Valina	11.3	4.3	6.4
Metionina	1.4	0.9	1.0
Isoleucina	8.9	3.1	5.2
Leucina	17.5	5.6	8.7
Fenilalanina	8.9	2.3	3.8
Lisina	15.3	2.5	4.6

Fuente: Sánchez, *et al.*, 2010.

Hojas y flores son una fuente de proteína con un perfil adecuado de aminoácidos y minerales (Cuadro 4). (Sánchez *et al.*, 2010). Por ejemplo, en Ghana se hace la comercialización en forma de harina de hoja para minimizar la desnutrición y enfermedades relacionadas con ésta (Yarley *et al.*, 2013). En México la harina de moringa podría ser adicionada a platillos típicos de consumo diario como tortillas, atole y bebidas.

Cuadro 4. Contenido de vitaminas y minerales en hojas de moringa (100 g de porción comestible).

Vitaminas, minerales y proteínas	Hojas frescas	Hojas secas
Caroteno	6.78 mg	18.9 mg
Tiamina (B1)	0.06 mg	2.64 mg
Riboflavina(B2)	0.05 mg	20.5 mg
Niacina (B3)	0.8 mg	8.2 mg
Vitamina C	220 mg	17.3 mg
Calcio	440 mg	2,003 mg
Calorías	92 cal	205 cal
Carbohidratos	12.5 g	38.2 g
Cobre	0.07 mg	0.57 mg
Grasa	1.70 g	2.3 g
Fibra	0.90 g	19.2 g
Hierro	0.85 mg	28.2 mg
Magnesio	42 mg	368 mg
Fosforo	70 mg	204 mg
Potasio	259 mg	1,324 mg
Proteína	6.70 g	27.1 g
zinc	0.16 mg	3.29 mg

Fuente: Trees for Life, 2011.

Los frutos inmaduros se consumen cocidos y se usan en sopas o se preparan a manera de esparrago y el uso de las semillas es similar a los chicharos (Liñan, 2010). Esto, debido a que tienen un alto contenido de fibra dietética y bajo contenido de lípidos (Sánchez *et al.*, 2010). Cabe resaltar que hasta la fecha, no se ha reportado que existan efectos secundarios negativos asociados al consumo de moringa. Sin embargo, se ha demostrado que la utilización de la raíz, como sustituto del rábano, puede ser tóxica, ya que contiene alcaloides como moringinina y spirochina (Dhakar *et al.*, 2001).

Las semillas contienen una alta proporción de aceite que podría ser usado como aceite comestible y no comestible (Ghazali y Mohammed, 2011). El aceite puede satisfacer las necesidades nutricionales al utilizarlo para cocinar y freír alimentos (Anwar *et al.*, 2007). El aceite es mucho más estable a altas temperaturas en comparación con los aceites regulares; presenta un alto contenido de ácido oleico lo cual disminuye el riesgo de

presentar colesterol alto y enfermedades cardiovasculares (Abdulkarim *et al.*, 2007; Anwar *et al.*, 2007).

El aceite de la variedad “Jaffna” de moringa de la India ha demostrado ser de los más estables y un buen sustituto del aceite de cacahuete en la cocción de alimentos (Ogunsina *et al.*, 2014). Adicionalmente, el extracto de hoja de moringa se ha utilizado como un antioxidante para evitar la degradación de los lípidos de la carne cruda (Shah *et al.*, 2015).

Se ha encontrado que plantas de moringa, derivadas de cultivo de tejidos, tienen una mejor composición de nutrimentos respecto a las de un cultivo convencional, mostrando mayor cantidad de luteína, β -caroteno, α -tocoferol y carotenoides totales (Saini *et al.*, 2012).

Las hojas pueden ser mezcladas con jugos o en cocteles de frutas, o preparadas en diferentes platillos (huevo o en puré para niños), lo cual enriquecería notablemente el valor nutricional en cuanto a proteínas, vitaminas y minerales de dichos alimentos (Bonal *et al.*, 2012). Las flores cocinadas tienen un sabor agradable similar a la de algunas setas comestibles. Las vainas tiernas son muy apreciadas en la India y se preparan del mismo modo que las habichuelas (Martín *et al.*, 2013).

1.3.8. Bioabsorbente

La moringa es un absorbente natural. A la fecha se han publicado 35 investigaciones para determinar la eficacia de esta propiedad. Las semillas de moringa son adsorbentes eficientes de origen natural para disminuir la concentración de cadmio. La corteza de la moringa puede ser utilizada para la separación de Ni (II) a partir de soluciones acuosas (Reddy *et al.*, 2011); las hojas pueden usarse como un bioadsorbente innovador de bajo costo y tienen buena capacidad de bioabsorción modificado con NaOH (Hidróxido de sodio) y ácido cítrico. Se encontró que la bioabsorción de Pb (II) por Camol, de la solución acuosa depende en gran medida del pH de la solución (Reddy *et al.*, 2010).

1.3.9. Floculante

La capacidad que tiene la moringa para disminuir los diferentes niveles de turbidez del agua ha sido objeto de estudio. A nivel internacional existen 64 publicaciones y en México se reportaron cuatro trabajos que evaluaron el uso del polvo de las semillas de moringa como purificador de agua. Además, su uso como sustituto de coagulantes metálicos para el tratamiento de aguas superficiales (Sandoval *et al.*, 2013; Rodríguez *et al.*, 2014; Sandoval *et al.*, 2014). La aplicación del coagulante natural no afecta las características originales de aguas turbias. Por tanto, la moringa es una alternativa para la clarificación del agua teniendo gran ventaja en comparación con coagulantes sintéticos. Para aguas turbias, entre 200 UNT y 360 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez), el uso de moringa como coagulante tiene el mismo comportamiento que el sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), a la misma concentración (1%) y en dosis mayores a 10 mg L^{-1} , teniendo moringa un mejor desempeño para disminuir la turbidez (Mejía, 1986; Feria *et al.*, 2014). Por el alto contenido de saponinas moringa es eficaz para la depuración de agua de baja turbidez (Lédo *et al.*, 2009; Gómez y García, 2013).

1.3.10. Bioenergético

Como cultivo bioenergético existen 30 trabajos realizados internacionalmente y seis en México. La mayoría de estos desarrollados en países como. Brasil, Malasia, USA, Nigeria, Grecia, Colombia, Tanzania e Italia. Los temas investigados son el rendimiento de moringa comparado con otras plantas bioenergéticas como *Jatropha curcas* (Mofijur *et al.*, 2014); así como las características de rendimiento en comparación con el aceite de palma, la caracterización bioquímica, el comportamiento térmico y su eficiencia en motores de varios cilindros. El biodiesel contiene 12% más de oxígeno que el diésel. Esta característica contribuye a la disminución en la emisión del CO_2 . Tanto *J. curcas* como *M. oleifera* son potenciales para la producción de biodiesel disminuyendo la dependencia de los combustibles fósiles (Mofijur *et al.*, 2014). Pero moringa es mejor para la producción de aceite vegetal en comparación con *J. curcas*. Su potencial es alto debido a su contenido de aceite en su semilla, el cual se ubica en más del 35% y es transparente,

y de sabor ligeramente dulce. La producción de biodiesel de alta calidad es de 1,419 L h⁻¹ (Kafuku y Mbaraw, 2010). Las mezclas de biodiesel de moringa en una relación del 5% y 10% reducen las emisiones contaminantes del petrodiesel. Estas mezclas pueden utilizarse en motores modificados para reducir la demanda energética global y las emisiones contaminantes al ambiente (Martín *et al.*, 2010; Mofijur *et al.*, 2014).

La mayoría de las propiedades del combustible están dentro límites establecidos en las normas mundiales de biodiesel como ASTM D6751 y EN 14242 (Kivevele y Huan, 2015). La propiedad más notable de biodiesel derivado del aceite de moringa es el alto índice de cetano cuyo número es de aproximadamente 67, que se encuentra entre las más altas reportadas para un biodiesel (Rashid *et al.*, 2008).

Moringa contiene un 70.6% de ácido oleico en su aceite siendo superior que *Jatropha*, cultivo bioenergético por sus semillas oleaginosas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Principales ácidos grasos identificados en los aceites de *Moringa oleifera* Lam. y *Jatropha curcas* % (w/w).

Ácido graso	<i>Jatropha</i>	Moringa
Palmítico	16.9	6.8
Palmitoleico	0,8	1.0
Esteárico	6,7	4.6
Oleico	35.2	70.6
10-octadecenoico	1.4	6.9
Linoleico	39.0	0,3
Behénico	-	5.2
Lignocérico	-	0.3

Fuente: Martín *et al.*, 2010.

El contenido proteico de la torta de prensa de moringa es de 68.6%, siendo mayor a su similar *Jatropha* (59.1%). Por otra parte, los extractos etanólicos de hojas son fuentes potenciales de aditivos antioxidantes para aumentar el valor IP (periodo de inducción) de biodiesel con baja estabilidad a la oxidación (Fernández *et al.*, 2015). También tiene un

alto contenido de celulosa para la producción de etanol (Cuadro 6) (Martin *et al.*, 2010) u otros usos.

Cuadro 6. Contenido químico de las tortas de prensa desgrasados % (w / w).

Contenido	<i>Jatropha</i>	<i>Moringa</i>
Proteína	59,1	68,6
FDA*	10,1	11,5
FDN*	7,8	7,6
Hemicelulosas	2.3	3.9
Celulosa	6.1	5.0
Lignina	1,7	2,6
Ceniza	11,7	6,1

FDA: Fibra detergente ácido; FDN: Fibra detergente neutro

Fuente: Martin *et al.*, 2010.

Finalmente existen revisiones que analizan temas muy específicos de moringa. Al respecto existen 81 publicaciones de revisiones bibliográficas a nivel internacional y dos a nivel nacional. Los temas que sobresalen son los de carácter agronómico donde se mencionan las múltiples características y potencialidades de moringa como árbol multipropósito, determinando los requerimientos físicos, edáficos y climáticos para su cultivo. Además, se describe el potencial económico y comercial de esta planta como productora de grandes cantidades de principios bioactivos y nutricionales, resaltando los beneficios que puede tener al darle un uso alimenticio o medicinal (Paliwal *et al.*, 2011; Martín *et al.*, 2013; Upadhyay *et al.*, 2015).

1.4. CONCLUSIÓN

El interés de investigación en moringa se ha incrementado a medida que se hicieron evidentes sus excelentes propiedades como alimento, medicina, floculante y biodiesel, siendo el año 2014 el más productivo con 240 trabajos publicados. Esta tendencia sigue en aumento ya que tan solo en los primeros tres meses del año 2016 se han registrado 228 publicaciones y el área más investigada es la de ciencias agrícolas y biológicas. Esta planta multipropósito está tomando importancia en centros de investigación en México y como cultivo comercial a la fecha existen más de 50 trabajos publicados pero esta cifra

va en aumento. La publicación de artículos en revistas nacionales e internacionales y en diferentes congresos evidencian la importancia de esta planta en México con fines productivos, comerciales y alimenticios.

1.5. LITERATURA CITADA

Abdulkarim, S. M., Long, K., Lai, O. M., Muhammad S. K. S. and Ghazali H. M. (2007). Frying quality and stability of high-oleic *Moringa oleifera* seed oil in comparison with other vegetable oils. Food Chemistry, 105, 1382-1389. [doi:10.1016/j.foodchem.2007.05.013](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.013)

Alfaro, N. C. y Martínez, W. (2008). Rendimiento y uso potencial de *Moringa oleifera* Lam. en la producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario-nutricional de Guatemala, proyecto FODECYT no. 26-2006. Guatemala. 1-31 pp. <http://qlifos.concyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt%202006.26.pdf>

Anwar, F., Ijaz, H. A., Iqbal, S. and Iqbal, B. M. (2007). Enhancement of the oxidative stability of some vegetable oils by blending with *Moringa oleifera* oil. Food Chemistry, 103,1181–1191. [doi:10.1016/j.foodchem.2006.10.023](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.023)

Barros, R., Briceño, M. E., Canul, S. J. P., Sandoval, C. C., Solorio, J. S. y Ku, J. V. (2012). Sistemas silvopastoriles con *Leucaena leucocephala* como alternativa en la producción ovina. Bioagrociencias, 5(2), 21-25. <http://www.ccba.uady.mx/revistas/bioagro/V5N2/Articulo%203.pdf>

Birmanía, J. W. (2013). Las arbóreas Una alternativa nutricional en la producción animal. Ganadería 1-4.

<http://www.engormix.com/MA-ganaderia-carne/nutricion/articulos/las-arboreas-alternativa-nutricional-t5175/141-p0.htm>

Bonal, R. R., O. Rivera R., y Bolívar, C. M. (2012). *Moringa oleifera*: una opción saludable para el bienestar. MEDISAN, 16(10), 1596-1599.

Castañeda, M. A. V., Castañeda, U. V., Salas, E. P. C. y Bedolla, C. C. (2014). Evaluación de la bioactividad de *Moringa oleifera* contra bacterias patógenas aisladas de la mastitis bovina. Progreso en las ciencias biológico-agropecuarias,110 p. http://congresos.cio.mx/11_enc_mujer/MEMORIAS%20MUJER%202014.pdf

Cobas, A.C. y Molina, L. B. (2004). Aptitud papelera de *Moringa oleifera*. V Jornadas de Desarrollo e Innovación Tecnológica 1-2. <http://www-biblio.inti.gob.ar/gsd/collect/inti/index/assoc/HASH010f/4e888975.dir/doc.pdf>

- Coromoto, P. A. (2011). Asociación de especies arbóreas forrajeras para mejorar la productividad y el reciclaje de nutrimentos en sistemas agroforestales. Tesis de grado para obtener el título de doctor en ciencias agropecuarias. Facultad de medicina veterinaria y zootecnia. México 149pp
http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/36127/1/tesis_jpetit.pdf
- Da Silva, J., Serra, T., Gossmann, M., Wolf, C., Meneghetti, M. y Meneghetti, S. (2010). *Moringa oleifera* aceite: Estudios de caracterización y producción de biodiesel. Biomasa y Bioenergía, 34(10), 1527-1530.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-32612014000200007
- Dhakar, R. C., Maurya, S. D., Pooniya, B. K., Bairwa, N., Gupta, M. and Sanwormal (2011). *Moringa*: The herbal gold to combat malnutrition. Chron Young Science, 2(3), 119-25.
<http://www.cysonline.org/article.asp?issn=2229-5186;year=2011;volume=2;issue=3;spage=119;epage=125;aulast=Dhakar>
- Di Niro. (2007). *Leucaena (Leucaena leucocephala)* disponible en: www.produccion-animal.com.ar consultado el 8 febrero de 2016.
- Duarte, P. A. P. (2012). Aislamiento y caracterización de las fracciones proteicas de la semilla de *Moringa oleifera*. Tesis de Mestría para obtener el grado de maestro en ciencias en Recursos Naturales. Instituto Tecnológico de Sonora. 76 p.
http://biblioteca.itson.mx/dac_new/tesis/321_duarte_pedro.pdf
- Espinosa, L. C. A., Pedraza, M. Z., Mireles, D. M., Garza, R. A. P., Rodríguez, R. G. G. y Morales, M. E. R. (2015). Comparación de la actividad antioxidante y contenidos fenólicos de extractos de planta silvestre y un producto comercial de *Moringa oleifera* Lam. Revista Latinoamericana de Química, 94-94.
- Fahey, J. W. (2005). *Moringa oleifera*: A Review of the Medical Evidence for Its Nutritional, Therapeutic, and Prophylactic Properties. Part 1.
<http://www.treesforlife.org/our-work/our-initiatives/moringa>
- Feria, D. J. J., Bermúdez R. S., y Estrada T. A. M. (2014). Eficiencia de la semilla *Moringa oleifera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú, Producción + Limpia 9(1), 9-22. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v9n1/v9n1a01.pdf>
- Fernandes, D. M. Sousa R. M. F., De Oliveira, A., Morais, S. Richter, E. M. y Munoz, R. A. A. (2015). *Moringa oleifera*: A potential source for production of biodiesel and antioxidant additives. Fuel, 146, 75–80. DOI: 10.1016/j.fuel.2014.12.081
- Foild, N. S., Mayorga, L. y Vásquez, W. (1999). Utilización del marango (*Moringa oleifera*) como forraje fresco para el ganado. Conferencia de la FAO sobre agroforestería para la producción animal en América Latina.
<http://www.fao.org/docrep/014/x1213s/x1213s.pdf>

- Fugliee, L. (2000). Se estudian nuevos usos del marango en Nicaragua. EDN 68. <http://www.fao.org/livestock/agap/frg/agrofor1/foidl16.htm>
- García, H. M., Sánchez, C., Colmenarez, J. y Beltrán, E. (1994). Suplementación a pastoreo de *Leucaena leucocephala* en vacas mestizas de doble propósito en el valle de Aroa, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 12(2), 205-224. http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/ZootecniaTropical/zt1202/texto/pastoreo.htm
- García, F., Arnala, J. M., Sanchoa. M. and Rodrigo I. 2015. *Moringa oleifera* for drinking water treatment: influence of the solvent and method used in oil-extraction on the coagulant efficiency of the seed extract. *Desalination and Water Treatment*, 1-8. DOI:10.1080/19443994.2015.1137144 B.
- Ghazali, H. M. and Mohammed, A. S. (2011). *Moringa (Moringa oleifera) Seed Oil: Composition, Nutritional Aspects, and Health Attributes*. *Nuts & Seeds in Health and Disease Prevention*, 787-793.
- Gómez, K. P. G. (2013). Evaluación de rendimiento de extracción y caracterización fitoquímica de la fracción extraíble de semilla de moringa (*Moringa oleifera* Lam.), a nivel laboratorio. Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero Químico. Guatemala http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1345_Q.pdf
- González, G. N. (2009). Datos generales sobre las propiedades nutricionales y medicinales de la planta *Moringa oleifera*. La Habana: Instituto Finlay.
- Haro, M. A. B. (2015). Estudio de prefactibilidad para la producción de harina de moringa como suplemento alimenticio del sector pecuario en la provincia de el oro. Tesis para obtener el grado de economista pecuario. Universidad de Machala. Ecuador. http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/2013/1/CD775_TESIS.pdf
- IKhan, I., Zaneb, H., Masood, S., Faseeh R. H., Shah, M., Abbas, G., Din, S., Yasir, H., Muhammad, S., Yousaf, K. and Shaheen, K. (2015). Affect of *Moringa oleifera* Leaf Supplementation on Intestine Morphology and Growth Performance, in Broiler Chickens. *Scholar's Advances in Animal and Veterinary Research*, 2(1), 25-31. https://www.researchgate.net/publication/274736342_Affect_of_Moringa_oleifera_Leaf_Supplementation_on_Intestine_Morphology_and_Growth_Performance_in_Broiler_Chickens
- Inforganic, (2007). *Moringa oleifera*, El Maná Verde del Trópico, cultivo, comercialización. Disponible en: <http://inforganic.com/node/1492>
- Kafuku G. and Mbarawa M. (2010). Biodieses production from *Crotón megalocarpus* oil and its process optimization. *Fuel*, 89, 2556-1560. doi: 10.1016/j.fuel.2010.03.039

- Kesharwani, S., Prasad, P., Roy, A. and Sahu, R. K. (2014). An Overview on Phytochemistry and Pharmacological Explorations of *Moringa oleifera*. UK Journal of Pharmaceutical and Biosciences, 2(1), 34-41. DOI: <http://dx.doi.org/10.20510/ukjpb/2/i1/91151>
- Kivevele, T. and Huan Z. 2015. Review of the stability of biodiesel produced from less common vegetable oils of African origin. South African Journal of Science, 111(10), 1-7. <http://dx.doi.org/10.17159/sajs.2015/20140434>
- Lédo, P., Lima, R., Paulo, J. y Duarte, M. (2009). Estudio comparativo de sulfato de aluminio y semillas de *Moringa oleifera* para la depuración de aguas con baja turbiedad. Información Tecnológica, 20(5), 3-12. doi: [10.1612/inf.tecnol.4096it.08](https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4096it.08)
- Liñán, T. F. (2010). *Moringa oleifera* el árbol de la nutrición. Ciencia y salud virtual, 2(1),130-138. <http://revistas.curnvirtual.edu.co/index.php/cienciaysalud/article/view/70>
- Madrigal, H. L. and Herrera, G. J. A. (2012). Planting of the tree of the moringa (*Moringa oleifera* Lam.) nutritional.
- Márquez, H. L. (2013). Actividad antioxidante de seis plantas medicinales de la región Huasteca (Aquismón, S.L.P.). Tesis que para la obtención del título de Bioquímico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí 60 p. [https://www.academia.edu/9138963/Actividad antioxidante en seis plantas con uso medicinal en la Huasteca Potosina Aquism%C3%B3n S.L.P. M%C3%A9xico](https://www.academia.edu/9138963/Actividad_antioxidante_en_seis_plantas_con_uso_medical_en_la_Huasteca_Potosina_Aquism%C3%B3n_S.L.P._M%C3%A9xico)
- Martínez, M. (1959). Plantas útiles de la flora mexicana. Botas, México, D. F. 621 p. https://books.google.com.mx/books/about/Plantas_utiles_de_la_flora_Mexicana.html?id=lf8YAAAAIAAJ
- Martin, C., Moure, A., Martin, G., Carrillo, E., Dominguez, H. and Parajo, J.C. (2010). Fractional characterisation of jatropha, neem, moringa, trisperma, castor and candlenut seeds as potential feedstocks for biodiesel production in Cuba. Biomass and Bioenergy, 34(4), 533–538. doi:[10.1016/j.biombioe.2009.12.019](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.12.019)
- Martin, A. E. (2012). Nutritive Value and Inherent Anti-nutritive Factors in Four Indigenous Edible Leafy Vegetables in Human Nutrition in Nigeria: A Review. Journal of Food Resource Science, 1 1-14. DOI: [10.3923/jfrs.2012.1.14](https://doi.org/10.3923/jfrs.2012.1.14)
- Martín, C., G. Martín, A. García, T. Fernández, E. Hernández y Jorgen, P. (2013). Potenciales aplicaciones de *Moringa oleifera*. Una revisión crítica. Pastos y Forrajes 36(2), 137-149.
- Meléndez, G. g. M. y Miranda Á. N. A. (2011). Valoración de la aceptación del comprador objetivo de la moringa como complemento alimenticio entre los

consumidores

de

Bogotá

<http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/9383/1/tesis476.pdf>

- Medina, M. G., García, D. E., Clavero, T. y Iglesias, J. M. (2007). Estudio comparativo de *Moringa oleifera* y *Leucaena leucocephala* durante la germinación y la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Tropical*, 25(2), 83-93 http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/ZootecniaTropical/zt2502/arti/molina.htm
- Mejía, J. M. G. (1986). Utilización de la semilla de la *Moringa oleifera* como coagulante natural. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Sanitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala. <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IscScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=113997&indexSearch=ID>
- Mofijur, M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Atabani, A. E., Rizwanul, F. I. M. and Mobarak, H. M. (2014). Comparative evaluation of performance and emission characteristics of *Moringa oleifera* and Palm oil based biodiesel in a diesel engine. *Industrial Crops and Products*, 53, 78–84. doi:10.1016/j.indcrop.2013.12.011
- Murrieta, R. M. J. (2014). Determinación de la altura óptima de poda del cultivo de moringa (*Moringa oleifera*) con fines de producción en la zona de Babahoyo. Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Escuela de Ingeniería Agronómica, Ecuador 56 p. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/49000/636/1/T-UTB-FACIAG-AGR-000110.pdf>
- Nouman, W., Siddiqui, M. T., Basra, S. M. A., Farooq, H., Zubair, M. and Gull, T. (2013). Biomass production and nutritional quality of *Moringa oleifera* as a field crop. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37, 410-419. doi:10.3906/tar-1206-29
- Nwakalor, C. N. (2014). Sensory evaluation of cookies produced from different blends of wheat and *Moringa oleifera* leaf flour. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3, 307-310. doi: 10.11648/j.ijnfs.20140304.21
- Olson, M. E. y J. Fahey W. (2011). *Moringa oleifera*: Un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82,1071-1082.
- Oduro, I., Ellis, W. O. and Owusu, D. (2008). Nutritional potential of two leafy vegetables: *Moringa oleifera* and *Ipomoea batatas* leaves. *Scientific Research and Essay*, 3 (2), 057-060. <http://www.academicjournals.org/SRE>
- Olivares, (2015). III Simposio Nacional de Moringa, <http://agrovitae.com.mx/?p=282>
- Ogunsina, B. S., Indira, T. N., Bhatnagar, A. S., Radha, C., Debnath, S. & Gopala, K. A. G. (2014). Quality characteristics and stability of *Moringa oleifera* seed oil of Indian origin. *Journal of food science and technology*, 51(3), 503-510. doi: 10.1007/s13197-011-0519-5.

- Paliwal, R., Sharma V. and Pracheta (2011). A Review on Horse Radish Tree (*Moringa oleifera*): A Multipurpose Tree with High Economic and Commercial Importance. Asian Journal of Biotechnology, 3, 317-328. [DOI: 10.3923/ajbkr.2011.317.328](https://doi.org/10.3923/ajbkr.2011.317.328)
- Pachas, N. (2011). Sistemas Silvopastoriles, Socios Estratégicos de la Lechería Misionera. Producir XXI, 20(242), 64-66. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/produccion_bovina_leche/07-lechero_silvopastoril.pdf
- Pérez, R. (2010). Avanza validación de moringa como alternativa forrajera para ovinos. Sinaloa, México, Fundación Produce. http://www.fps.org.mx/divulgacion/index.php?option=com_content&view=article&catid=37:sinaloa-produce&id=478:avanza-validacion-de-moringa-como-alternativa-forrajera-para-ovinos&Itemid=373
- Popoola, J. O. and Obembe, O. O. (2013). Local knowledge, use pattern and geographical distribution of *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae) in Nigeria. Journal of Ethnopharmacology, 150(2), 682–691. [doi:10.1016/j.jep.2013.09.043](https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.09.043)
- Rahman, M. M., Hassan, M. H., Kalam, A., Atabani, A. E., Memon, L. A. and Rahman, A. (2014). Performance and emission analysis of *Jatropha curcas* and *Moringa oleifera* methyl ester fuel blends in a multi-cylinder diesel engine. Journal of Cleaner Production, 65(15), 304-310. [doi:10.1016/j.jclepro.2013.08.034](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.08.034)
- Rashid, U., Anwar. F., Moser, B. R. and Ashraf, S. (2008). Production of biodiesel through optimized alkaline-catalyzed transesterification of rapeseed oil. Fuel, 87, 265-273. <http://naldc.nal.usda.gov/download/26769/PDF>
- Ramaroson, V. R., Valentin, D. and Arviseneta, G. (2015). How to use local resources to fight malnutrition in Madagascar? A study combining a survey and a consumer test. Appetite, 95, 533-543. [doi:10.1016/j.appet.2015.08.011](https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.08.011)
- Ramos, O. T., Castillo, J. H. y Sandoval, J. J. G. (2015). Efecto de intervalos y alturas de corte en la productividad forrajera de *Moringa oleifera*. Revista Biociencias, 3(3), 187-194. <http://dx.doi.org/10.15741/revbio.03.03.05>
- Reddy D. H. K., Harinath Y., Sessaiah K, and Reddy A. V. R. (2010). Biosorption of Pb(II) from aqueous solutions using chemically modified *Moringa oleifera* tree leaves. Chemical Engineering Journal, 162, 626-634. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2010.06.010>.
- Reyes S., N. (2004). Marango: cultivo y utilización en la alimentación animal. Guía técnica. Universidad Nacional Agraria, Managua, NI. - See more at: <http://repositorio.una.edu.ni/2410/#sthash.PaUTHO6E.dpuf>
- Reyes, S. N., Sporndly, E. and Ledin, I. (2006). Effect of feeding different levels of foliage of *Moringa oleifera* to creole dairy cows on intake, digestibility, milk production and composition. Livestock Science, 101, 24–31. [doi:10.1016/j.livprodsci.2005.09.010](https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.09.010)

- Rico, S. A. D. (2013). Efecto de la intensidad de podas sobre la producción de biomasa en hojas de *Moringa oleifera*. Facultad de ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro: 51. <http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/1924/1/RI001236.pdf>
- Saini R. K., Shetty N. P., Giridhar P. and Ravishankar G. A. (2012). Rapid in vitro regeneration method for *Moringa oleifera* and performance evaluation of field grown nutritionally enriched tissue cultured plants. 3 Biotech, 2, 187-192. doi: 10.1007/s13205-012-0045-9
- Sánchez D. I. M., López, J. C. and Ríos, N. J. V. (2006). Highperformance liquid chromatography method to measure α - and γ -tocopherol in leaves, flowers and fresh beans from *Moringa oleifera*. Journal of Chromatography A., 1105(1-2), 111-114.
- Sánchez, D. I. M., Núñez, J. A. G., Reyes, C. M., Ramirez, B. W. & López, J. C. (2010). Nutritional Quality of Edible Parts of *Moringa oleifera*. Food Anal. Methods 3, 175–180. <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12161-009-9106-z>
- Sánchez, Y. A. P., Martínez, G. C. G., Sinagawa, S.R. G. y Vázquez, J. A. R. 2013. *Moringa oleifera*; Importancia, Funcionalidad y Estudios Involucrados. Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila 5(9): 25-30. <http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/AQM/No.%209/5.-%20moringa.pdf>
- Sandoval, M. M. A., y Laines, J. R. C. (2013). *Moringa oleifera* una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales, 17(2), 93-101. <http://www.redalyc.org/pdf/467/46730913001.pdf>
- Sandoval, M. A., and Fuentes, R. (2014). Fluoride removal from drinking water by electrocoagulation in a continuous filter press reactor coupled to a flocculator and clarifier. Separation and Purification Technology, 134(0), 163-170
- Santos, A. F. S., Argolo, A. C. C., Paiva, P. M. G., and Coelho, L. C. B. B. (2012). Antioxidant Activity of *Moringa oleifera* Tissue Extracts. Phytotherapy Research, 26, 1366–1370. doi: 10.1002/ptr.4591.
- Singh, B. N., Singh, B. R., Singh, R. L., Prakash, D., Dhakarey, R., Upadhyay, G. and Singh, H. B. (2009). Oxidative DNA damage protective activity, antioxidant and anti-quorum sensing potentials of *Moringa oleifera*. Food and Chemical Toxicology, 47, 1109–1116. [doi:10.1016/j.fct.2009.01.034](https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.01.034)
- Solorio, F. J. S. y Solorio, B. S. (2008). *Leucaena leucocephala* (Guaje), una opción forrajera en los sistemas de producción animal en el trópico. Manual de manejo agroeconómico de *Leucaena leucocephala*. 48 p. <http://www.ganaderialaluna.com/pdf/9mich.pdf>
- Torres, J. A. C, Sinagawa, S. R. G., Martínez, G. C. G. Á., López, A. B. F., Sánchez, E. I. G., Aguirre, V. E. A., Torres, R. I. A., Olivares, E. S., Osorio, E. H. and Gutiérrez, A. D. (2013). *Moringa oleifera*: phytochemical detection, antioxidants, enzymes and

- antifungal properties. International journal of experimental botany, 82, 193-202.
http://www.revistaphyton.fund-romuloraggio.org.ar/vol82/TORRES_CASTILLO.pdf
- Thurber, M. D. and Fahey, J. W. (2010). Adoption of *Moringa oleifera* to combat under nutrition viewed through the lens of the "Diffusion of Innovations" theory. Ecology of Food and Nutrition, 48(3), 212-225. doi: 10.1080/03670240902794598
- Upadhyay, P., Yadav, M. K., Mishra, S., Sharma, P. and Purohit, S. (2015). *Moringa oleifera*: A review of the medical evidence for its nutritional and pharmacological properties. International Journal of Research in Pharmacy and Science, 5(2),12–16.
<http://www.ijrpsonline.com/pdf/3029.pdf>
- Valdés, R. O. A., Pérez, V. A., Palacios, W. O. M. y Ruiz, H. R. (2014). Potencial de la asociación *Moringa* y *Ricinus* en el subtrópico veracruzano. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 9, 1673-1686.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4921709>
- Vázquez, D. B. V. E. (2004). Formulación y aceptabilidad de preparaciones comestibles a base de *Moringa oleifera*. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. 51p.
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2270.pdf
- Yarley, O. P. N., Kwesi, F. S. and Adu, E. A. (2013). Optimizing Acceptability of Fresh *Moringa oleifera* Beverage. Food Science and Quality Management, 21, 34-39.
<http://www.iiste.org/>
- Wagner, B. J. y Colon, R. E. (2007). Alturas y frecuencias de corte en la relación hojas/tallos y rendimiento de materia seca en *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Congreso SODIAF 2007.
http://www.sodiad.org.do/congreso/memorias/3_congreso/Resumenes_y_Programa_SODIAF_2007.pdf

CAPÍTULO II. EFECTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN *Moringa oleifera* LAM. EN LA ZONA CENTRO DE VERACRUZ

RESUMEN

Moringa es una planta de alto valor alimenticio. La humedad del suelo es un factor limitante en el crecimiento y desarrollo del cultivo. Se evaluó el efecto de diferentes niveles de humedad del suelo en el crecimiento y la producción biomasa de *Moringa oleifera* Lam. el objetivo de este trabajo fue cuantificar el efecto de la humedad en el suelo sobre el crecimiento y la producción de biomasa en moringa en la zona centro del estado de Veracruz. Las plantas se establecieron usando semillas con un peso 0.330 g (± 0.026), se utilizó un sustrato de 1:1:1 (arena, suelo y estiércol). Se determinó la capacidad de campo (C.C.), el punto de marchitez permanente (P.M.P.) y la curva de retención de la humedad para definir los tratamientos al 75, 50, 25 y 10% de la humedad aprovechable (H.A.). Se midieron variables de crecimiento y producción de biomasa (gruesa y fina) durante tres meses. No se encontró diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) entre la altura, crecimiento del diámetro, el número de hojas y la producción de biomasa. Se encontró una correlación positiva ($r = 0.61$) entre la altura y peso del tallo y ($r = 0.64$) entre el diámetro del tallo y el peso del tallo. Se concluye que no hubo efecto de la humedad del suelo en la producción de biomasa, posiblemente debido a la tolerancia a la sequía de la planta y al margen estrecho de la H.A. entre tratamientos.

Palabras clave: *Moringa oleifera* Lam., estrés hídrico, biomasa, suelo, microclima

Chapter II. EFFECT OF SOIL HUMIDITY ON *Moringa oleifera* LAM. IN CENTRAL VERACRUZ

ABSTRACT

Moringa is a plant with high nutritional value. Soil moisture is a limiting factor on crop growth and development. The effect of different soil moisture levels on growth and biomass production of *Moringa oleifera* Lam. was studied. The objective of this work was to quantify soil humidity effect on moringa's growth and biomass production in the center of the state of Veracruz. The plants were established using seeds weighting 0.330 g (\pm 0.026), a proportion of 1:1:1 for sand, soil and manure substrate was used. The Field Capacity (FC), Permanent Wilting Point (PWP), and the Water Retention Curve were determined in order to define treatments (75, 50, 25 and 10% of Available Water (AW)). Growth variables and biomass production (gross and fine) were measured during three months. No significant statistical differences (Tukey, $p > 0.05$) between height, diameter growth, number of leaves and biomass production was found. A positive correlation ($r = 0.61$) was found between height and stem weight and between stem diameter and stem weight ($r = 0.64$). It can be concluded that soil moisture had no effect on biomass production, possibly due to drought tolerance of the plant and the narrow margin of the AW among treatments.

Keywords: *Moringa oleifera* Lam., hydric stress, biomass, soil, microclimate

2.1 INTRODUCCIÓN

Moringa oleifera Lam. es una especie conocida comúnmente como moringa en México. Es una especie originaria del Noroeste de la india (Standley y Stermarck, 1946), la cual presenta usos: alimenticio, medicinal, bioabsorbente, floculante y biodiesel (Olson y Fahey, 2011).

Uno de los usos más importantes es el alimenticio, ya que sus hojas tienen un alto contenido de nutrimentos que pueden ser adicionadas a alimentos para aumentar su valor nutritivo, siendo una alternativa para combatir la desnutrición en zonas rurales o marginadas (Alfaro y Martínez, 2008). Sus hojas tienen notables cantidades de minerales y una baja concentración de compuestos nocivos como son taninos, lecitinas, y fitatos; característica que permiten el uso de esta planta como forrajera e incrementar la producción de carne y leche bovina (Sánchez *et al.*, 2013).

Es una planta que se distribuye en países donde predominan los climas tropicales subhúmedo, en zonas donde la cantidad de lluvia es de media a baja (Muhl *et al.*, 2011). Es una planta que tolera la sequía (Rivas *et al.*, 2013), y por tanto presenta un alto potencial agronómico para zonas áridas y semiáridas (Sánchez *et al.*, 2013). Es una planta que no tolera condiciones de exceso de agua, ya que sus raíces tienden a podrirse debido a la oxidación que ocurre en la cutícula de la raíz (Nouman *et al.*, 2013).

Los incrementos de temperatura ocasionan estrés hídrico en las plantas causando pérdidas notables en el rendimiento de los cultivos, debido a una alteración morfológica, anatómica y fisiológica en las plantas (Wahid *et al.*, 2007; Hedhly *et al.*, 2009). Este fenómeno ocurre cuando la transpiración es mayor a la cantidad de agua absorbida por las raíces y se ve reflejada en el bajo crecimiento de sus órganos (Munns y Tester, 2008; Luna *et al.*, 2012). Aunque también puede darse por bajas temperaturas y una elevada salinidad en el suelo (Moreno, 2009), representando una fuerte restricción para elevar la productividad en moringa (Basurto *et al.*, 2008).

La identificación de las etapas fenológicas permite saber en qué momento la planta requiere mayor cantidad de agua, promoviendo un uso eficiente de este recurso e impidiendo el exceso de humedad en el cultivo (Muhl *et al.*, 2013). La falta de humedad en la etapa de plántula provoca grandes cambios morfológicos en los cultivos, aunque

exista la probabilidad de recuperación ya no se logra recuperar el crecimiento de las plantas (Rojas y Ledent, 2014). Por ello, registrar la precipitación *in situ* en zonas donde las lluvias son escasas, permite conocer la cantidad de humedad que necesita el suelo para promover un mejor desarrollo y crecimiento de la planta (FAO, 2016).

Es por ello, que el estudio sobre la adaptación de los cultivos ante el estrés representa un desafío para las ciencias biológicas permitiendo la comprensión de la interacción que ocurre entre el suelo-planta-ambiente, y como este cambio puede afectar su ontogenia (Harris *et al.*, 2012). El estrés hídrico está considerado como la condición ambiental que reduce el crecimiento y el rendimiento por debajo de los niveles óptimos (Arnholdt, 2004; Cramer *et al.*, 2011), lo que limita la producción de hasta un 70%, debido la deshidratación celular (Boyer, 1982). Es por ello que muchos organismos son capaces de bajar su tasa metabólica reduciendo su actividad por la poca disposición de los recursos orillándolas a entrar en etapas de letargo como parte de un proceso fisiológico para contrarrestar al estrés (Harris *et al.*, 2009; Brown *et al.*, 2013).

Por tanto, el objetivo de este trabajo fue cuantificar el efecto de la humedad en el suelo sobre el crecimiento y la producción de biomasa en moringa en la zona centro del estado de Veracruz. Bajo la hipótesis de que el crecimiento y la producción de biomasa de moringa son función de la humedad en el suelo.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La unidad experimental se estableció en los terrenos del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz (Figura 11), localizado en el municipio de Manlio Fabio Altamirano (19° 16' 00"LN, 96° 16' 32" LO; 16 m snm). El vivero tenía una superficie de 6 m x 3.2 m x 4 m (largo, ancho y alto) y fue cubierto con malla antiáfidos y en la parte superior se colocó un plástico de invernadero para evitar que la lluvia afectara los niveles de humedad del suelo de los tratamientos.

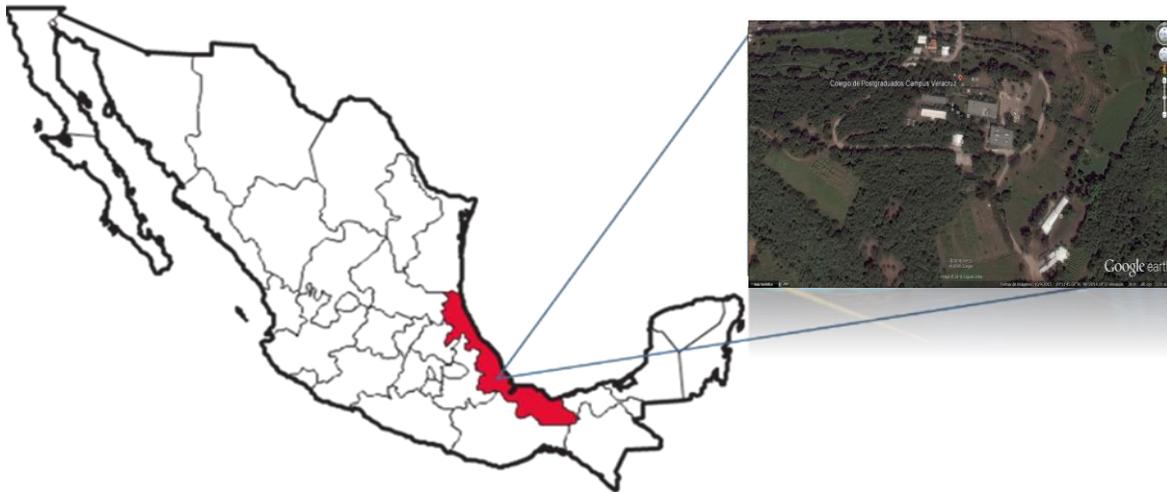


Figura 11. Ubicación del área de estudio en el Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.

Material biológico. Las semillas fueron recolectadas de una plantación de moringa del Colegio de Postgraduados en agosto del 2014. Se almacenaron a una temperatura de 5 °C. De éstas, se seleccionaron semillas cuyos pesos se estuvieran entre los 0.300-0.350 g, teniéndose como promedio 0.330 g (± 0.026).

Sustrato. Se elaboró un sustrato con la proporción 1:1:1 (suelo, arena y estiércol de vaca) colocando 13.7 kg de sustrato por maceta. Se determinó la capacidad (C.C.), el punto de marchitez permanente (P.M.P.) y la curva de tensión de la humedad de una muestra compuesta (Figura12).

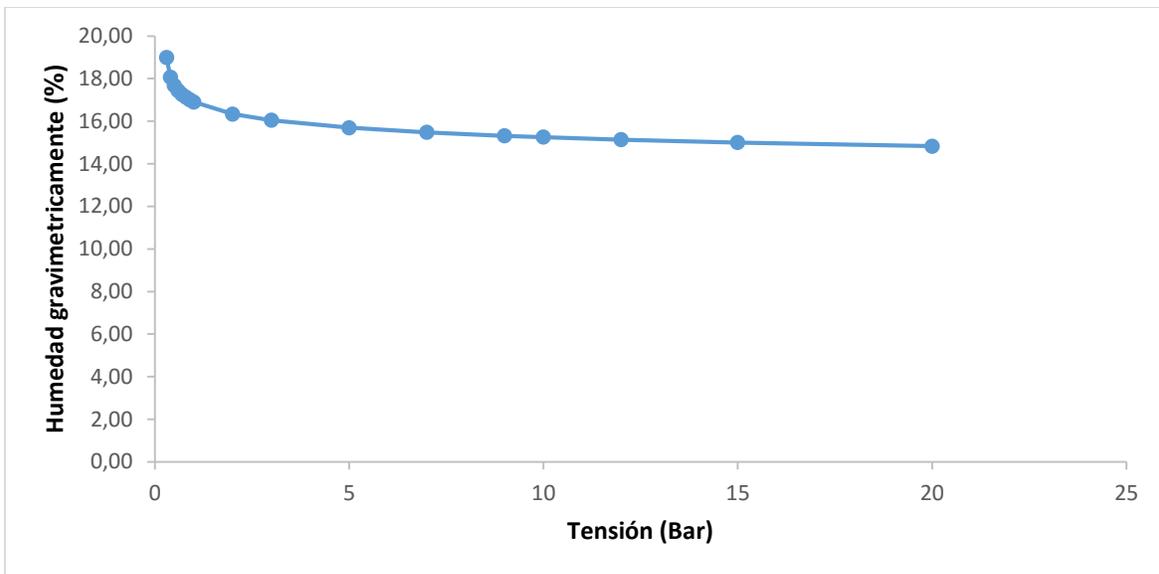


Figura 12. Curva de retención de humedad del sustrato utilizado.

Durante la fase experimental se registraron, la temperatura ambiental, humedad relativa y punto de rocío en el microclima con un medidor de temperatura (*data logger USB-502 Measurement computing*). El promedio de temperatura fue de 27.39 °C (± 4.03); con una humedad relativa (Hr) de 85.75% (± 11.35) y el punto de rocío de 23.77 °C (± 2.11) Se tomó una muestra compuesta del sustrato empleado en el experimento. El análisis determinó que la textura fue arenoso-franco, con un pH de 6.9, conductividad eléctrica de 149.7 μ S y un 0.97% de materia orgánica.

Siembra. Se sembraron 120 semillas de moringa en bolsas de vivero 40 cm x 40 cm, conteniendo 13.7 kg de sustrato cada una, el día 10 de julio de 2015. Las bolsas fueron colocadas dentro del vivero a una distancia de 40 cm entre filas y 30 cm entre plantas. A los 15 días después de la germinación se seleccionaron aquellas plantas que tenían la misma altura y vigor.

Tratamientos y diseño experimental. El diseño fue completamente al azar con cuatro tratamientos y nueve repeticiones. Los tratamientos se determinaron a partir de la diferencia que existió entre la capacidad de campo (C.C.) y el punto de marchitez permanente (P.M.P.), dando como resultado la humedad aprovechable (H.A.).

$$H.A.=C.C.-P.M.P.$$

H.A.= 19% – 15%

H.A.= 4%

Los tratamientos se establecieron cuando las plantas habían alcanzado una altura promedio de 50 cm. Desde el día de la germinación las plantas se mantuvieron con suministro diario de 200 ml de agua. Los tratamientos fueron: T1 (75% H.A.), T2 (50% H.A.), T3 (25% H.A.) y T4 (10% H.A.), tal como se indica en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Tratamientos de humedad aprovechable.

Tratamiento	Trat. (H.A.) (%)	Peso de la maceta acorde al tratamiento (kg)
1	75	14.11
2	50	13.97
3	25	13.83
4	10	13.75

*Peso de la maceta con el suelo al inicio del experimento fue de 13.7 kg.

Manejo del experimento. Diariamente se pesaban las macetas y se adicionaba agua para mantener el peso acorde al tratamiento. Con ayuda del TDR 100 (*FieldScout*) se registraba el porcentaje de humedad contenido en la maceta y se adicionaba agua según fuera el caso.

VARIABLES REGISTRADAS. Cada 7 días se registró la altura de la planta y el diámetro del tallo empleando una cinta métrica. Se contabilizó el número de hojas y se determinó la producción de biomasa (fresca y seca). Se realizaron tres muestreos destructivos con una planta por tratamiento, con un espaciamiento de 30 días para conocer la distribución de biomasa y la cantidad de biomasa producida al final del experimento. Además, se determinó la tasa relativa de crecimiento (TRC) en la altura del árbol y el diámetro del tallo. La TRC se calculó con la fórmula $TRC = (\ln P_2 - \ln P_1) / (t_2 - t_1)$ (Hunt, 1978).

Análisis estadístico. Para determinar la probable existencia de diferencias significativas entre los tratamientos se realizaron análisis de varianza (ANOVA) y se compraron las medias empleando la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para cada variable medida. Se hicieron

análisis de correlaciones usando la prueba de Pearson. El análisis estadístico se realizó con el programa InfoStat versión 2016.

2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Altura de planta

Las semillas de moringa germinaron 10 días después de la siembra. Posterior a ello, el crecimiento fue en aumento constante (Padilla *et al.*, 2012). La Figura 13 muestra las curvas de crecimiento promedio de los tratamientos durante los meses que duró el experimento. Comparando la altura entre tratamientos no se obtuvieron diferencias significativas ($p > 0.05$). La tasa de crecimiento fue de 0.21, 0.20, 0.21 y 0.20 cm día^{-1} para los tratamientos 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

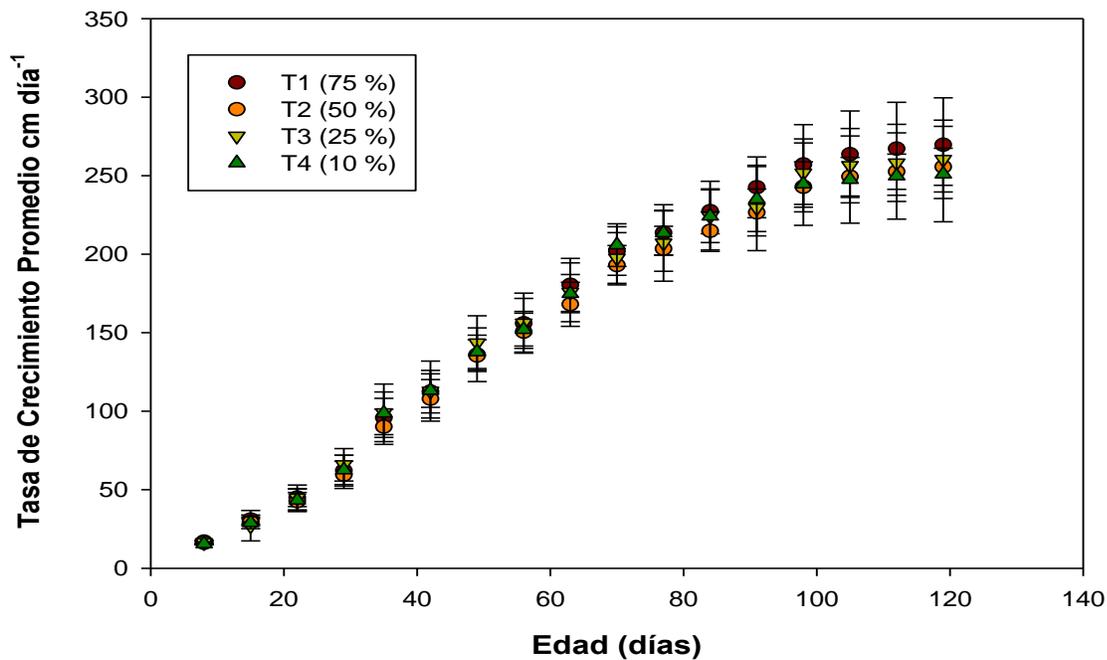


Figura 13. Crecimiento promedio de los cuatro tratamientos de humedad de *Moringa oleifera* Lam.

Diámetro del tallo

El diámetro del tallo de los tratamientos presentó un crecimiento progresivo durante todo el experimento. Alcanzando un tamaño de 9.8 mm para el T1(75% H. A.) en el día 38, para el día 73 fue de 21.7 mm y para el día 126 fue de 33.12 mm (Figura 14). Comparando entre tratamientos no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $p>0.05$), teniendo un incremento en el diámetro del tallo similar. Se encontró una correlación positiva ($r=0.64$) con diferencia significativa ($p<0.05$) entre diámetro del tallo y la producción de biomasa (fracción gruesa).

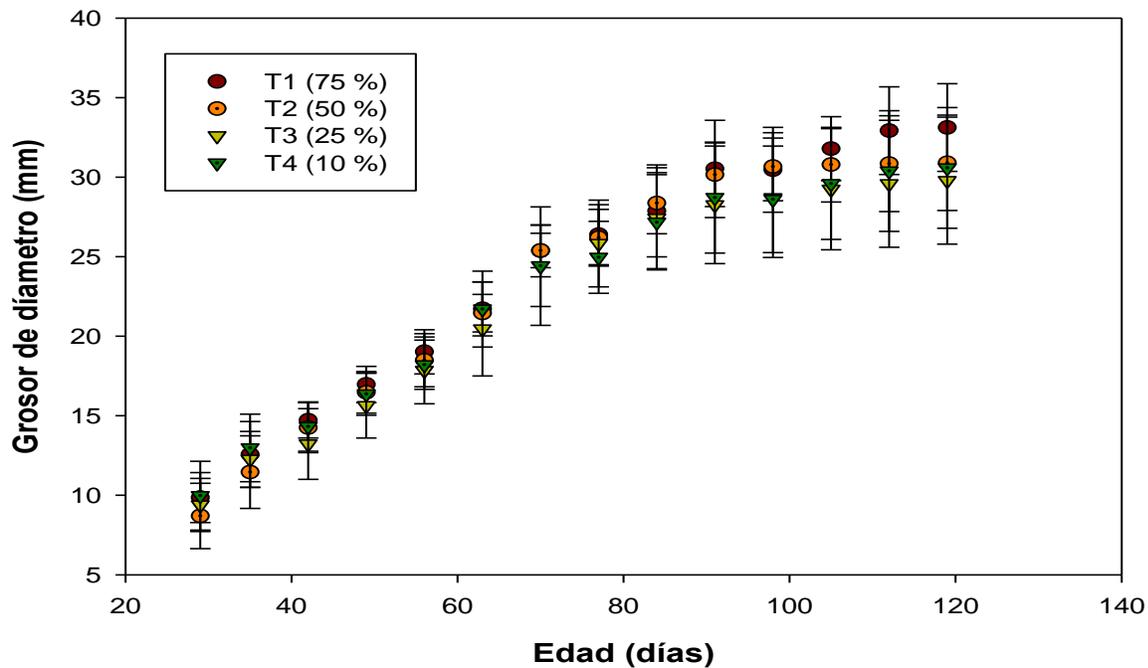


Figura 14. Crecimiento del diámetro de tallos de los cuatro tratamientos de humedad de *M. oleifera*.

Número de hojas

El número de hojas tuvo un crecimiento progresivo en todo el experimento al igual que la altura y el diámetro (Figura 15). No se presentaron diferencias estadísticas en los tratamientos ($p>0.05$). Los arboles de moringa no presentaron ramificación lo cual influyó en el número de hojas producidas. Es posible que la poca distancia entre plantas y la competencia por luz hicieran que las plantas presentaran una mayor elongación.

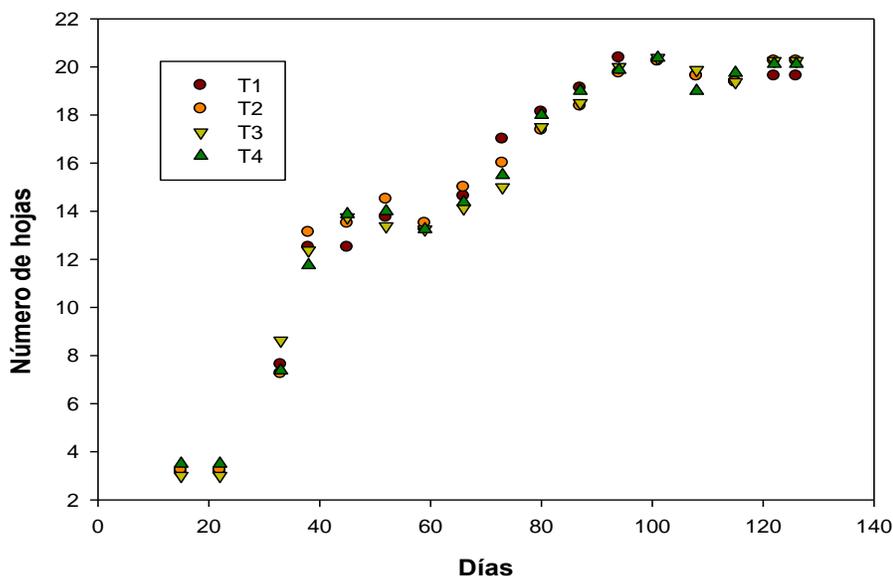


Figura 15. Número de hojas de *M. oleifera* de los cuatro tratamientos de humedad del suelo con respecto al tiempo.

Producción de biomasa

La producción de biomasa fracción fina fue inferior a la fracción gruesa. El aumento de biomasa fue similar entre los tratamientos (Cuadro 8). El resultado del análisis estadístico demuestra que no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) en la producción de biomasa por el efecto de la humedad. Se atribuye a que la diferencia entre C.C. y el P.M.P fue del 4% (es decir la humedad aprovechable H.A.). Este rango hizo que el efecto de la humedad entre los tratamientos no fuera contrastante además de que moringa tiene gran tolerancia al estrés hídrico (Montaño, 2014).

Asignación de materia seca

La mayor cantidad de biomasa se concentró en el tallo, esto debido a que las plantas se desarrollaron rápidamente y tuvieron poca ramificación, impidiendo el aumento del área foliar y, por ende, la cantidad de biomasa aérea producida fue limitada (Cuadro 8).

Cuadro 8. Distribución de la biomasa en tres muestreos destructivos en moringa.

Distribución de biomasa				
Muestreo	Días después de la siembra	Hoja (g)	Tallos (g)	Raíz (g)
1	70	73.94* (25.4%)	163.66 (56.23%)	53.42 (18.36%)
2	100	127.71 (19.38%)	386.87 (58.73%)	144.09 (21.89%)
3	126	101.46 ± 20.7 (13.20%)	507.29 ± 157.7 (66.02%)	159.57 ± 58.2 (20.76%)

*Promedio de los cuatro tratamientos.

La mayor tasa relativa de crecimiento promedio entre el primer y segundo muestreo fue $0.025 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ y de $0.0071 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ entre el segundo y tercer muestreo. El Cuadro 9 muestra las correlaciones entre las variables estudiadas con una correlación positiva del diámetro del tallo y el peso del tallo ($p < 0.05$).

Cuadro 9. Correlaciones entre las variables registradas del efecto de la humedad en el suelo de moringa.

Variabes	Altura	Diámetro tallo	Longitud raíz	Hoja pf	Tallo pf	Raíz pf
Altura	1	0.59	0.04	0.78	1.00E-04	0.83
Diámetro tallo		1	0.75	0.02	6.80E-05	1.70E-04
Longitud raíz			1	0.21	0.2	0.8
Hoja pf				1	0.06	0.73
Tallo pf					1	0.02
Raíz pf						1

pf = peso fresco

En la Figura se 16 muestra el modelo de ajuste de las curvas de crecimiento de moringa en la fase de vivero.

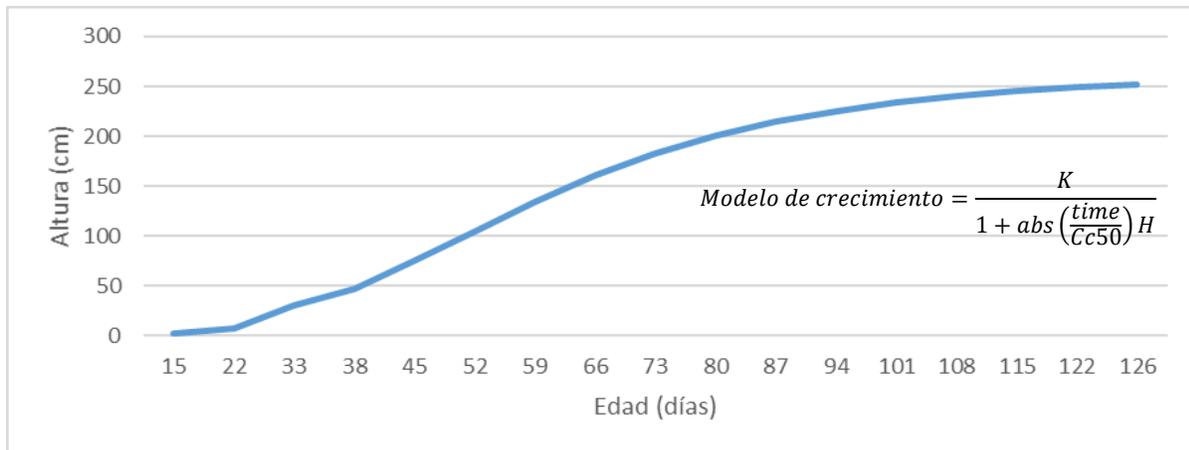


Figura 16. Modelo de crecimiento de *M. oleifera*.

La relación tallo-diámetro fue de 85.3% debido que la distancia entre plantas permitió un desarrollo proporcional de los individuos (Figura 17).

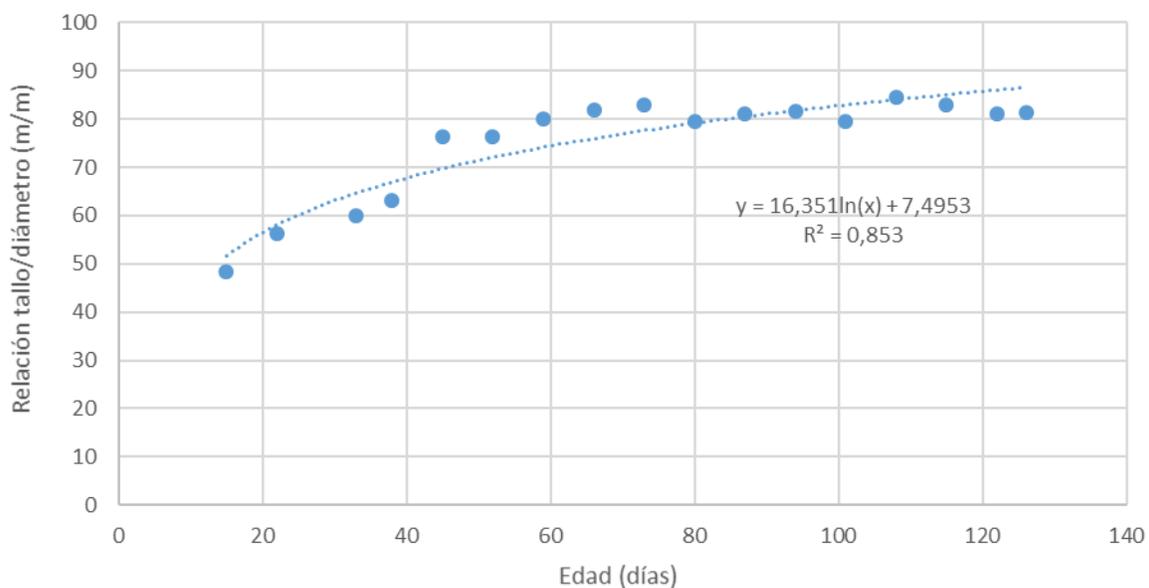


Figura 17. Relación tallo/diámetro de *M. oleifera* en el periodo de evaluación.

Discusión

La asignación de biomasa por órgano se define como la relación que existe entre la biomasa de un órgano respecto a la biomasa total de la planta, multiplicada por 100 (Aguilar *et al.*, 2002). La altura promedio obtenida a los 66 dds (días después de la siembra) fue de 1.50 m, superior a los 43.7 cm reportado por Contreras *et al.*, (2015) a

los 71 dds. Toral *et al.*, (2013) tuvo un bajo crecimiento en las mismas condiciones de evaluación al obtener una altura de 17.5 cm a los 40 dds. Por otra parte, Medina *et al.*, (2007) registró una altura de 53.20 cm a los 91 dds. También Alfaro y Medina (2008) reportaron un crecimiento de 35.88 cm a los 63 dds con una tasa de crecimiento de 1.132 mm, estos trabajos fueron realizados en condiciones de vivero, además, la tasa de crecimiento en este experimento fue de 2.3 cm día⁻¹.

El incremento de la altura puede atribuirse a la temperatura se encontraba en un rango de 20-30 °C. Este rango está dentro de los valores óptimos para el crecimiento de moringa (Muhl, 2009). Además, el incremento de temperatura influye en la respiración. La teoría metabólica afirma que una mayor tasa de respiración contribuye a un aumento proporcional al crecimiento y producción de biomasa (Brown *et al.*, 2004). Temperaturas por debajo de 20 °C reducen significativamente el crecimiento de la planta, considerando que el intervalo de temperatura anual adecuado para moringa es de 15 a 30 °C (Paliwal *et al.*, 2011). Es decir, que moringa crece bien en temperaturas mayores a 20 °C (Emongor, 2011) y que por debajo de esta temperatura optima se afecta el porcentaje de crecimiento por cada grado Celsius que exista de diferencia (Santibáñez *et al.*, 2015). Las tasas de crecimiento registradas en este experimento fueron inferiores a los 2.3 cm día⁻¹ reportado en trabajos realizados con diferentes tipos de sustratos (Valdés *et al.*, 2014).

El diámetro del tallo fue de 20 mm a los 73 días después de la germinación. Este valor fue mayor que los 25 mm reportados por Alfaro y Medina (2008). En condiciones similares, pero con una variación en el sustrato, siendo el diámetro del tallo repostado de 35 mm a 40 días después de la siembra (Toral *et al.*, 2013). En suelos alcalinos el diámetro de moringa puede medir 45 mm a los 45 dds (Medina *et al.*, 2011). Por otra parte, Pérez (2011) registró un tamaño de diámetro de 5.8 mm trascurridos 42 dds. Todos estos valores son inferiores al compararlo con esta investigación, ya que la tasa de crecimiento del diámetro fue de 0.23 cm día⁻¹.

La temperatura influye directamente en el crecimiento y endurecimiento de los tallos. Por ende, los climas tropicales son los más recomendables para el cultivo de moringa, en climas subtropicales responde favorablemente considerando que los inviernos no sean

muy fríos de lo contrario afectaría su producción y propagación (Muhl *et al.*, 2011). Santibáñez *et al.*, (2015) sugirieron estudiar la temperatura máxima a la hora de determinar las zonas más viables para el establecimiento de los cultivos. El tamaño de nuestros contenedores fue de 40 x 40 cm superior a los contenedores 28 x 13 cm (Toral *et al.*, 2013), 17 x 24 cm (Medina *et al.*, 2007) y 27.5 x 22.8 cm (850 ml) (Contreras *et al.*, 2015) este factor influyó en el desarrollo de la raíz.

Por otra parte, el incremento de hojas se debe a la necesidad de la planta para tener mayor área fotosintética, este proceso requiere el suministro constante de agua, radiación y dióxido de carbono (Medina *et al.*, 2010). Durante los primeros 40 días las plantas no rebasaron las seis hojas por planta. Se encontró pérdida de hojas, amarillamiento foliar y senescencia debido al efecto del microclima (Alfaro y Martínez, 2008). El incremento de temperatura ocasiono el cierre de estomas y disminución en la turgencia celular limitando la producción de biomasa (Balaguera *et al.*, 2008).

En un periodo de 40 días no rebaso las seis hojas por planta. Se encontraron pérdida de hojas, con amarillamiento foliar y senescencia debido a que la temperatura aumento por el efecto del microclima La pérdida de hojas afecta el rendimiento total de la biomasa y es un efecto de la disminución de la turgencia y cierre de estomas, por la baja humedad en el suelo disminuyendo el área foliar.

La propagación por semilla es la más apropiada para el desarrollo del sistema radicular permitiendo que sea más profundo respecto a la propagación por esqueje (Richter *et al.*, 2003). Actividades como someter a las semillas a estrés hídrico favorece que la planta sea más tolerante a la sequía en la etapa de plántula, además de los mecanismos epigenéticos que intervienen en el reconocimiento del estrés permitiendo la adaptación de las plantas (Rivas *et al.*, 2013). El tamaño de la raíz estuvo determinado por el contenedor utilizado. Algunas plantas perdieron la pivotante, y se modificó a una raíz bifurcada. El crecimiento promedio no rebaso los 24 cm de longitud, esto puede atribuirse al suministro diario de agua y la raíz no se vio obligada a elongarse, Además, la raíz de moringa alcanza la forma tuberosa a los 20 días después de la germinación (Navarro, 2000). Este órgano le permite el almacenamiento de nutrientes y agua, lo cual facilita su adaptación a climas cálidos (Ducan, 2012). Se reporta que las plantas con raíz pivotante

requirieren de trasplante inmediato por su crecimiento unidireccional, pero el exceso de humedad limita el crecimiento de la raíz y la parte aérea de especies arbóreas (Pardos, 2004; Padilla *et al.*, 2012).

Palada y Chang, (2003) reportaron que la precipitación mínima anual para moringa es de 250 mm año⁻¹. Muhl *et al.*, (2013), menciona que el estrés hídrico provoca aborto o disminución de la tasa fotosintética afectando severamente el rendimiento. Algunas especies como chaya (*Cnidoscolus chayamansa*) también presenta la capacidad de tolerar la sequía, y al suministrarle diferentes niveles de humedad no presenta efectos en su contenido de proteína, hierro, zinc (Cifuentes y Bressani, 2015).

Estudios realizados por Padilla *et al.*, (2012) aplicando diferentes periodos de remojo en las semillas de moringa, no obtuvieron diferencias estadísticas en la longitud y grosor del tallo. Rivas *et al.*, (2013) encontró que una baja en el contenido de agua en el suelo no afectó el contenido de agua en las hojas y la altura de los tratamientos no tuvo diferencias estadísticas al aplicarles diferentes niveles de riego.

Moringa en condiciones de baja humedad mantuvo sus procesos celulares y de crecimiento (Rivas *et al.*, 2013). Debe considerarse que las plantas arbustivas no se comportan como las plantas anuales, mismas que podrían ser más sensibles a la humedad (Stanihill, 1965).

2.4 CONCLUSIONES

M. oleifera presentó buen crecimiento en condiciones semicontroladas logrando alturas hasta de tres metros en tan solo tres meses. Cabe resaltar que no se encontraron diferencias estadísticas significativas por efecto de la humedad en el suelo respecto a variables de crecimiento y producción de biomasa. Esto se atribuye al rango estrecho en que se manejó la humedad del suelo y a la característica genética de la planta de tolerar condiciones de sequía. Las altas temperaturas (de 28 °C y humedad relativa del 80%) y alta densidad ocasionó un elongamiento de las plantas. Hubo un crecimiento progresivo del diámetro del tallo, aunque no presentó ramificación tuvo buena producción de biomasa aérea (hoja) con un valor del 18% de proteína. El suministro adecuado de agua aseguró obtener un alto rendimiento en el cultivo de moringa. Quizás el adicionar abonos

a esta planta incrementaría su crecimiento reflejando una mejor producción. Además, se requieren futuras investigaciones para evaluar el estrés hídrico en moringa. Con base en los resultados obtenidos se rechaza la hipótesis, ya que no existieron diferencias estadísticas significativas en la humedad del suelo y el crecimiento de moringa; además, la altura, el tamaño de diámetro, número de hojas y producción de biomasa fue similar entre tratamientos.

2.5 LITERATURA CITADA

- Alfaro, N. y Martínez, W. 2008. Uso y potencial de la Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) para la producción de alimentos nutricionalmente mejorados. Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá -INCAP. Guatemala. 30p
- Aguilar, L. G., Escalante, J. A. E., Rodríguez, M. T. G. y Fucikovsky, L. Z. 2002. Materia seca, rendimiento y corriente geofitoeléctrica en girasol. *Terra*. 20(3): 277-284. <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/20/3/art277-284.pdf>
- Amzallag, G. N. 2001. Data analysis in plant physiology: are we missing the reality?. *Plant, Cell & Environment*. 24(9):881-890.
- Arnholdt, S. B. 2004. Stress-induced cell reprogramming. A role for global genome regulation? *Plant Physiology*. 136:2579–2586.
- Balaguera, H. E.; Álvarez, H. J. G. and Rodríguez, J. D. 2008. Efecto del déficit de agua en el trasplante de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Agronomía Colombiana*. 26(2):246-255.
- Basurto, M. S.; Núñez, A. N.; Pérez, R. L. R. y Hernández, O. A. R. 2008. Fisiología del estrés ambiental en plantas. *Synthesis*. 48:1-5.
- Boyer, J. S. 1982. Plant productivity and environment. *Science*. 218:443–448
- Brown, J. H.; Gillooly, J. F.; Allen, A. P.; Savage, V. M. and West, G. B. 2004. Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology*. 85:1771–1789.
- Calispa, F. 2000. Manejo y conservación de suelos. Consorcio de capacitación para el manejo de recursos Naturales. Quito, Ecuador, pp 169-170.
- Cifuentes, R. y Bressani, R. 2015. Efecto de la humedad del suelo y la fertilización con N PK sobre la producción de biomasa y composición química de hojas de chaya (*Cnidoscolus aconitifolius* ssp. *Aconitifolius*) en Guatemala. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*. 22:8-21.
- Contreras, C. A. J.; Trejo, R. C.; Reveles, H. y Pedroza, A. S. 2015. Evaluación de altura y diámetro de plántula de tres genotipos de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) en la

- Comarca Lagunera. III Congreso Internacional y XI Congreso Nacional de Recursos Bióticos de Zonas Áridas. 465-472.
- Cramer, G.R.; Urano, K.; Delrot, S.; Pezzotti, M. and Shinozaki K. 2011. Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. *BMC Plant Biology*. 11:163-177.
- Emongor, V. E. 2011. *Moringa (Moringa oleifera Lam.): A review*. *Acta Horticulturae (ISHS)*. 911:497-508.
- FAO, 2016. Manejo de la humedad del suelo. Disponible en: http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sm/soil_moisture.pdf consultado el 10 mayo 2016)
- Harris, V. C.; Esqueda, M.; Valenzuela, E. M. S. y Castellanos, A. E. 2007. Tolerancia al estrés hídrico en la interacción planta-hongo micorrízico arbuscular: metabolismo energético y fisiología. *Revista de Fitotecnia Mexicana*. 32(4):265-271.
- Harris, V. C.; Esqueda, M.; Orozco, A. A.; Castellanos, A. E.; Gardea, A. y Valenzuela, E. M. S. 2012. Metabolismo energético de *Cucurbita pepo* micorrizada con hongos del desierto sonoreño y crecida con salinidad o déficit de humedad. *Revista fitotecnia mexicana*. 35(1):51-59.
- Hedhly, A.; Hormaza, J. I. and Herrero M. 2009. Global warming and sexual plant reproduction. *Trends in plant science*. 14:30-36.
- Luna, F. W.; Estrada, M. H.; Jiménez, J. J. M. y Pinzón, L. L. 2012. Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.* 30(4): 343-353.
- Medina, M.; García, G.; Moratinos, D. E. P. y Cova, L. J. 2011. Comparación de tres leguminosas arbóreas sembradas en un sustrato alcalino durante el período de aviveramiento. I. Variables morfoestructurales. *Pastos y Forrajes*. 34(1):37-52.
- Medina, M. G.; García, D. E.; Clavero, T. y Iglesias, J. M. 2007. Estudio comparativo de *Moringa oleifera* y *Leucaena leucocephala* durante la germinación y la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Tropical*. 25(2):83-93.
- Medina, M., García, D.; Moratinos, P.; Cova, L. y Clavero, T. 2010. Evaluación en vivero de especies con potencial para sistemas agroforestales en el estado de Trujillo, Venezuela. *Revista Facultad Agronómica*. 27:232-250.
- Montaño, 2014. Producción de Bioetanol a partir de material lignocelulósico de *Moringa oleifera*. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de: Magíster en Ingeniería Mecánica. Universidad Nacional de Colombia.
- Moreno, L. P. F. 2009. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía Colombiana*. 27(2):179-191.
- Mulh, Q. 2009. Seed germination, tree growth and flowering responses of *Moringa oleifera* Lam. (Horsedish tree) to temperature. Thesis to obtain the degree of M. Sc.

Horticulture. Faculty of Natural and Agricultural Sciences, University of Pretoria. Pretoria, South Africa

- Muhl, Q.E.; Toit E. D. S. and Robbertse, P. J. 2011. *Moringa oleifera* (Horseradish Tree) Leaf Adaptation to Temperature Regimes. International Journal of Agriculture & Biology. 13:1021–1024.
- Muhl, Q. E.; Toit E. D. S.; Steyn, J. M. and Apostolides, Z. 2013. Bud development, flowering and fruit set of *Moringa oleifera* Lam. (horseradish tree) as affected by various irrigation levels. Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics. 114:79-87.
- Munns, R. and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology. 59: 651-681.
- Navarro, G. P. 2000. *Moringa oleifera* un aliado en la lucha contra la desnutrición. Acción contra el Hambre. Disponible en: <https://www.accioncontraelhambre.org/sites/default/files/documents/moringa-final-pag-simples.pdf> (consultado en 15 de abril de 2016).
- Nouman W.; Siddiqui, M. T.; Basra, S. M. A.; Farooq, H.; Zubair, M. and Gull, T. 2013. Biomass production and nutritional quality of *Moringa oleifera* as a field crop. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 37:410-419.
- Olson, M. E. y Fahey, J. W. 2011. *Moringa oleifera*: Un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. Revista Mexicana de Biodiversidad. 82:1071-1082.
- Padilla, C.; Fraga, N. and Suárez, M. 2012. Effect of the soaking time of moringa (*Moringa oleifera*) seeds on the germination and growth indicators of the plant. Cuban Journal of Agricultural Science. 46:419-421.
- Palada, M. C., and Chang, L. C. 2003. Suggested cultural practices for Moringa. International Cooperators' Guide AVRDC. AVRDC pub, 03-545.
- Pardos, J. A. 2004. Repuesta de las plantas al anegamiento del suelo. Investigación agraria. Sistemas y Recursos Forestales. 13(1):101-107.
- Paliwal, R.; Sharma, V. and Pracheta, J. 2011. A review on horse radish tree (*Moringa oleifera*): A multipurpose tree with high economic and commercial importance. Asian Journal of Biotechnology. 3:317-328.
- Pérez, E. 2011. Caracterización agronómica y nutricional de *Moringa oleifera* para la alimentación de bovinos en desarrollo. Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Agrónomo. Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey. Matanzas, Cuba. 62 p
- Richter, N. Perumal, S. and Klaus, B. 2003. Evaluation of nutritional quality of moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves as an alternative protein source for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). Aquaculture. 217:599–611.

- Rivas, R.; Oliveira, M. T. and Santos, M. G. 2013. Three cycles of water déficit from seed to Young plants of *Moringa oleifera* woody species improves stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*. 63:200-208.
- Rojas, M. P. y Ledent, J. F. 2014. Efecto de la sequía en la morfología, crecimiento y productividad de genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Bolivia. *Revista Latinoamericana de la papa*. 18(1):25-76.
- Sánchez, P. Y. A.; Martínez, G. C. C. A.; García, S. R. y Rodríguez, J. A. R. 2013. *Moringa oleifera*: Importancia, Funcionalidad y Estudios Involucrados. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*. 5(9): 25-30.
- Santibáñez, F.; Mendoza, J.; Muñoz, C.; Caroca, C.; Santibáñez, P. and Prat, L. 2015. Systems to establish bioclimatic analogies to predict the area of adaptability of plant species to new environments: The case of *Moringa oleifera* Lam. In Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 75:425-433.
- Stanhill, G. 1965. The concept of potential evapotranspiration in arid zone agriculture. *Unesco Arid Zone Research*. 25:109-117.
- Standley, P. y Stermarck, J. 1946. *Flora de Guatemala*. Chicago, USA: Fieldiana Botany. 493 pp.
- Toral, O.; Cerezo, Y.; Reino, J. y Santana, H. 2013. Caracterización morfológica de ocho procedencias de *Moringa oleifera* (Lam.) en condiciones de vivero. *Pastos y Forrajes*. 3(4):409-416.
- Valdés, R. O. A., Muñoz, C. G.; Pérez, V. A. y Martínez, L. E. P. 2013. Análisis y ajuste de curvas de crecimiento de *Moringa oleifera* Lam. en diferentes sustratos. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*. 2(2):66-70.
- Valdés, R. O. A.; Pérez, V. A.; Palacios, W. O. M. y Ruiz, H. R. 2014. Potencial de la asociación *Moringa* y *Ricinus* en el subtrópico veracruzano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9:1673-1686.
- Wahid, A.; Gelani, S.; Ashraf, M. y Foolad, M. R. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*. 61(3):199-223.

CAPÍTULO III. EFECTO DE LA PODA EN *Moringa oleifera* LAM. EN LA ZONA CENTRO DE VERACRUZ

RESUMEN

Moringa oleifera Lam. es una especie con gran plasticidad agroecológica y de gran importancia alimenticia. Existen pocos trabajos en México que reporten el comportamiento de moringa en términos de producción de biomasa y crecimiento respecto al efecto de la poda. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la poda sobre la producción de biomasa en moringa en la zona centro del estado de Veracruz. Plantas de 3 años de edad fueron seleccionadas de acuerdo a la similitud entre altura y diámetro basal. El diseño experimental fue de bloques completamente al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron podas a 0.75, 1.00 y 1.50 m de altura respecto al suelo. Se midieron variables de crecimiento y producción de biomasa durante de cuatro meses. Se encontraron diferencias estadísticas (Tukey, $p < 0.05$) en el crecimiento y supervivencia de los brotes, pero no así para la producción de biomasa. Se concluyó que, para las alturas de corte evaluadas, no hubo diferencias estadísticas significativas en la producción de biomasa.

Palabras clave: *Moringa oleifera* Lam., biomasa, podas, manejo

CHAPTER III. EFFECT OF PRUNING OF *Moringa oleifera* Lam., IN THE ZONE CENTER OF VERACRUZ

ABSTRACT

Moringa oleifera Lam. is a plant with great agro-ecological plasticity and extremely important as a food. There are few studies in Mexico related to the behavior of moringa in terms of biomass production and growth due to the effect of pruning. The purpose of this study was to determine the growth and biomass production under different heights of pruning in moringa. Plants of three years old with similar height and basal diameter were chosen. The design was randomized complete block with three treatments and four replicates. Treatments of pruning were: 0.75, 1.00 and 1.50 m high from the ground. Variables such as growth and biomass production were measured during four months. Statistical differences (Tukey, $p < 0.05$) were found, in the growth and survival of outbreaks, but not for biomass production. It was concluded that, for pruning heights evaluated there was no statistically significant differences in biomass production.

Keywords: *Moringa oleifera* Lam, biomass, pruning, management.

3.1 INTRODUCCIÓN

La finalidad de la agricultura actual es buscar la manera de disminuir el hambre y la desnutrición que sufre la humanidad (Mackenzia y Cun, 2015). Una alternativa que puede contribuir a esta noble tarea es el cultivo de moringa (*Moringa oleifera* Lam.), un árbol multipropósito originario del Noroeste de la India que se ha distribuido en la mayoría de las zonas tropicales y subtropicales del mundo y que se introdujo a América Latina en el año de 1920 (Foidl, 1999).

Los usos de esta planta son: industrial, floculante, bioabsorbente, agrícola, medicinal y alimenticio, siendo estos dos últimos los de mayor interés, debido al contenido de propiedades benéficas contenidas en sus hojas (Thurber y Fahey 2009). Las hojas contienen todos los aminoácidos esenciales, carbohidratos, carotenos, vitaminas, calcio, hierro, magnesio, fósforo, potasio, zinc, proteínas, grasas y ácidos grasos (Lim, 2012). Éstas se utilizan en la alimentación tanto humana como animal promoviendo un aumento de peso y un mejor estado nutricional (Kakengi *et al.*, 2007).

Ninguna otra planta se compara con el perfil nutricional de esta planta, además presenta un rápido crecimiento, alta producción de biomasa y supervivencia en climas duros, resistencia a la sequía, tolera precipitaciones de 500 a 1500 mm, crece en suelos sueltos y marginales con rangos de pH de 4.5-8 (Adedapo *et al.*, 2009).

Esta planta se puede utilizar como una opción sostenible y económicamente viable para la producción de alimentos, reforestación, producción de forraje o cultivo agrícola resistente al cambio climático (Palada y Chang, 2003, Reyes *et al.*, 2006). También puede usarse como un recurso de primer orden para combatir la desnutrición y aquellas patologías asociadas a la carencia de vitaminas (Orona *et al.*, 2015), principalmente en comunidades rurales donde el acceso a alimentos es limitado. El uso de esta planta con fines nutricionales puede contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional de la población (Sánchez *et al.*, 2010; Mudywa *et al.*, 2013).

Tiene buenos rendimientos de materia fresca y seca, ambos determinados por las condiciones del cultivo (González, 2013). La disponibilidad de biomasa permite cosechar

las hojas varias veces al año. Pero a medida que la planta envejece disminuye su producción (Palada y Chang, 2003). Una de las estrategias para aumentar su productividad de biomasa es la implementación de podas ya que moringa tiene buena capacidad de rebrote (Price, 2007). Este proceso permite promover la ramificación, aumentar el rendimiento y facilitar la cosecha. Aunque existe información sobre podas aún se desconoce cuál es la altura óptima de corte para que la planta logre una producción de biomasa a corto tiempo sin poner en riesgo el cultivo.

Por tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la poda sobre la producción de biomasa en moringa en la zona centro del estado de Veracruz. Bajo la hipótesis de que el crecimiento y la producción de biomasa de moringa es función de la altura de poda.

3.2 MATERIALES Y MÉTODO

Material biológico. Las semillas de moringa fueron sembradas en octubre del 2012, cuyo peso promedio fluctuaba en 268.9 (\pm 42.9) mg. Para julio del 2015 el cultivo tenía una edad de 3 años.

Área de estudio. La unidad experimental se estableció en los terrenos del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, localizado en el municipio de Manlio Fabio Altamirano (19° 16' 00" LN, 96° 16' 32" LO; 16 msnm) (Valdés *et al.*, 2014). Durante el experimento se registraron datos climáticos. El promedio de temperatura máxima fue de 31 °C (\pm 1.94) y mínima de 22 °C (\pm 1.21); la humedad relativa de 82% (\pm 2.11) y una precipitación acumulada de 293 mm y la anual de ese año de 771.2 mm.

Se realizó un perfil de suelo a una profundidad de 1.27 m para conocer las capas del suelo y describir las características que presentaba cada capa. El suelo se caracteriza ser poco profundo y pedregoso (Valdés *et al.*, 2014).

Se realizó el análisis de suelo a cada capa del perfil para determinar la composición del suelo en diferentes profundidades.

Tratamientos y Diseño experimental. El diseño fue de bloques completamente al azar con tres bloques, tres tratamientos y tres repeticiones (Cuadro 10). Los tratamientos se determinaron seleccionando aquellas plantas que tuvieran altura y diámetro del tallo

similar. La altura promedio de las plantas fue de 6.41 (\pm 0.22) m y un diámetro promedio del tallo de 137.84 (\pm 16.92) cm. La distancia entre filas fue de 4 m y 2 m entre plantas. La poda se realizó con serrotes, la primera poda se realizó el día 27 de julio y la segunda el 28 de septiembre, tendiendo dos periodos de muestreo, el primero del 27 de julio al 28 de septiembre y el segundo del 29 de septiembre al 28 de noviembre.

Cuadro 10. Tratamientos de altura de poda en el cultivo de moringa.

Tratamiento	Altura de poda respecto al suelo
T1	0.50 m
T2	1.00 m
T3	1.50 m

Manejo del experimento. Diariamente se monitoreaba el experimento para evitar que fuera perjudicado por algún agente externo. Con ayuda de un flexómetro se midió la altura. Las plantas no recibieron riego ni abono.

Variables registradas. Cada siete días se registró la cantidad y ubicación de ramas en el tallo; la altura, número de ramas y número de hojas de los brotes. También se realizaron dos muestreos con un espaciamiento de 60 días para conocer la distribución biomasa fracción gruesa y fracción fina. Además, se determinó la tasa de crecimiento promedio, la cantidad de materia seca, ceniza y proteína contenida en las hojas de moringa.

Análisis estadístico. Para determinar diferencias estadísticas entre las diferentes alturas de poda se realizaron análisis de varianza con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) por cada variable medida. El análisis estadístico y las correlaciones se realizaron con el programa InfoStat versión 2016.

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Perfil de suelo

El perfil de suelo arrojó que en la capa superior se encontró mayor cantidad de materia orgánica y un suelo más ligero y a mayor profundidad mayor compactación del suelo (Cuadro 11).

Cuadro 11. Perfil de suelo del cultivo de moringa.

Profundidad (cm)	Carácter	Descripción
0-25	Color	Amarillo grisáceo en húmedo
	Materia orgánica	2.5%
	Raíces	Gruesas medianas
	Pedregosidad	Tamaño pequeño
	Textura	Franco arcillosa
	Densidad aparente	Buena 1.2 - 1.27
	biodiversidad	Hormigas y microfauna
	Observaciones	Presencia de manchas moteadas
25.1 – 53	Color	Café cobrizo en húmedo
	Pedregosidad	Abundante con capas laminares con segmentos duros
	Textura	Franco-arcilloarenosa
	Materia orgánica	Mínima cantidad de M.O
	Raíces	Tope de desarrollo radicular por la presencia de piedra
	Densidad aparente	1.3 - 1.4
	Diámetro de piedra	Superior a los 8 cm
53.1 – 87	Color	Amarillo grisáceo en húmedo
	Materia orgánica	Ausente
	Gravilla	Producto del desgaste del material rocoso de la capa superior
	Moteados	Color amarillo y material laminar duro
	Materia orgánica	Ausente
87.1 – 127	Color	Gris claro
	Roca madre	Sin presencia de piedra
	Raíces	Escasas raíces adventicias
	Pedregosidad	Material laminar compactado

Análisis de suelo

El análisis de suelo arrojó que la capa superior (0 a 0.25 m) presento mayores valores de conductividad eléctrica y materia orgánica en comparación con las capas más profundas (Cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis de suelo de cada profundidad del cultivo de moringa.

Profundidad (cm)	Textura	Conductividad eléctrica μS	pH	Materia orgánica (%)	Amoniaco	P	K	Nitrato
					$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg L^{-1})	(mg L^{-1})	(mg L^{-1})	($\text{NO}_3\text{-N}$) (mg L^{-1})
0-25	Franco arcilloso	186.8	6.34	2.50	2.5	1	14	86
25.1 – 53	Arenoso Franco	145.0	6.87	0.48	2.0	1.5	24	12
53.1 – 87	Arenoso Franco	114.6	6.77	0.36				10
87.1 – 127	Franco arcilloso	218.1	6.91	0.30				

Altura de los brotes

Los primeros brotes aparecieron 20 días después de la primera poda y 21 días después de la segunda poda. Posteriormente la tasa de crecimiento tuvo un crecimiento progresivo. La tasa de crecimiento para las alturas 0.50, 1.00 y 1.50 m fueron de 1.30, 1.35 y 1.10 cm día^{-1} , siendo el tratamiento 1.00 m el de mayor crecimiento en el primer periodo de 60 días. Los primeros 28 días, los tratamientos tuvieron un crecimiento similar, mostrando diferencias ($p < 0.05$) en el crecimiento la altura de 1.0 m respecto a los otros tratamientos hasta el día 59.

En el segundo periodo las tasas de crecimiento fueron 1.80, 1.44 y 0.98 cm día^{-1} para el tratamiento 1, 2 y 3. El tratamiento con mayor tasa de crecimiento en el segundo periodo fue el de la poda a 0.50 m. Los tratamientos mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el crecimiento desde los 26 días después de la segunda poda. Al final del periodo de experimentación los tratamientos presentaron crecimientos similares. La Figura 16 muestra las curvas de crecimiento promedio de los tratamientos durante dos periodos (60 días) de poda. En el primer periodo, el mayor crecimiento se observó en el tratamiento de poda a 1.0 m de altura y en el segundo periodo el mayor crecimiento lo obtuvo el tratamiento de poda a 0.50 m de altura (Figura 18).

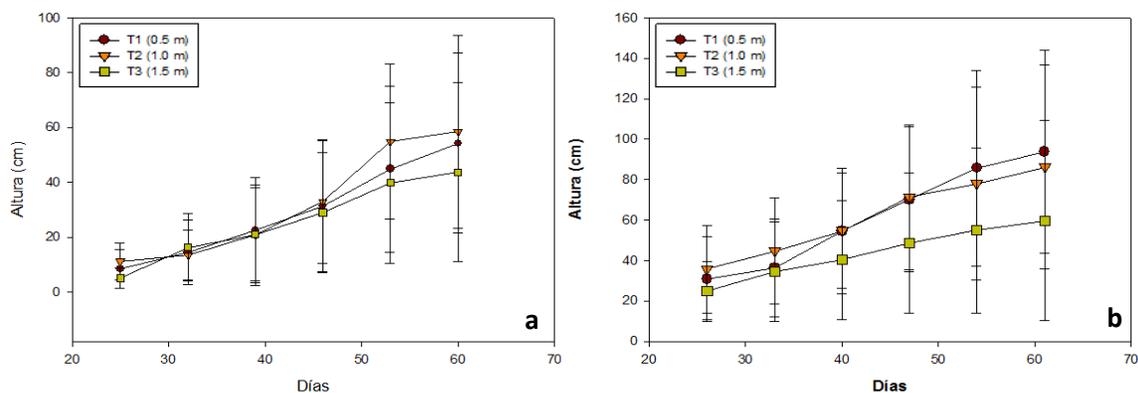


Figura 18. Crecimiento promedio de brotes de *M. oleifera* a diferentes alturas de poda en dos periodos: a) Periodo uno: altura máxima T2: 58 cm; y b) Periodo dos: altura máxima T1: 93 cm.

Número de hojas

La producción de hojas estuvo en constante aumento durante el experimento. En el primer periodo existió una diferencia significativa ($p < 0.05$) en el número de hojas entre 0.50 m contra las otras alturas; para el día 60 la altura de 1.5 m fue la más productiva. En el segundo periodo durante los primeros 26 días después de la poda no se encontró diferencias significativas en la cantidad de hojas entre tratamientos; el incremento de hojas para la altura 1.50 m fue evidente a partir del día 40 diferenciándose de los otros tratamientos, al final del segundo periodo de evaluación, los tratamientos de poda a la altura de 1.0 y 1.50 m presentaron un comportamiento similar. La cantidad de hojas por tratamiento fue diferente, siendo el T2 (1.0 m) más productivo en el primer periodo y el T3 (1.50 m) en el segundo periodo (Figura 19).

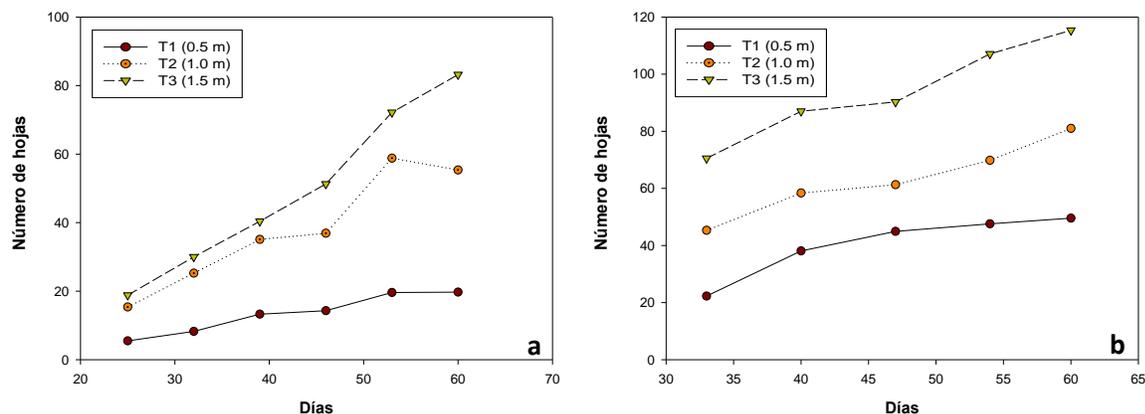


Figura 19. Número de hojas de los tratamientos sometidos a diferentes alturas de poda en dos periodos a) Periodo uno: tratamiento con mayor cantidad de hojas T3: 83 hojas, b) Periodo dos: tratamiento con mayor cantidad de hojas, T3:115 hojas.

Supervivencia de brotes

Los brotes emergieron a los 20 días de la poda, pero no todos llegaron a desarrollarse por completo. En el primer periodo los tratamientos 1.0 y 1.5 m tuvieron cantidades similares de brotes durante 53 días, a partir de ahí se presentó un incremento significativo de brotes en el T3 (1.5 m) respecto a los otros tratamientos. En el segundo periodo se encontró una diferencia significativa entre el T3 con los otros tratamientos. Siendo este tratamiento el de mayor número de brotes en ambos periodos de poda (Figura 20). El número máximo de rebrotes correspondió al tratamiento T3 (1.5 m) con 113 brotes y el menor número de rebrotes lo obtuvo el Tratamiento T1 (0.5 m) con 35. La mayor desviación estándar de la producción de brotes correspondió al tratamiento T3 (1.5 m), D.E.= 4.72 y la menor al tratamiento T1 (0.50m) D.E.= 2.36. Aunque el mayor número de brotes correspondió al T3 estos no influyeron en la producción de biomasa debido tamaño de los rebrotes y hojas.

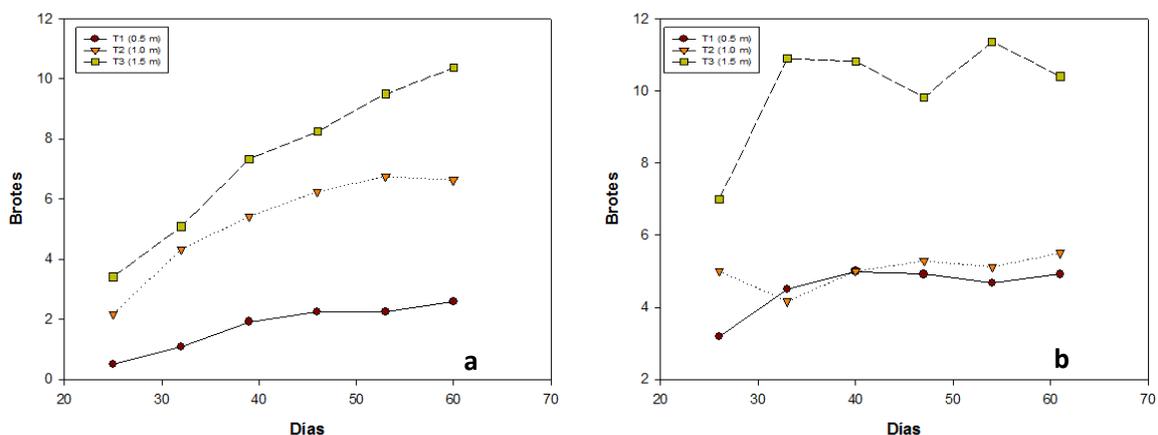


Figura 20. Número de brotes de los tratamientos sometidos a diferentes alturas de poda en 2 periodos a) Periodo uno: 60 días b) Periodo dos: 60 días.

Producción de biomasa

No se encontraron diferencias estadísticas ($p > 0.05$) en la producción de biomasa en ambas cosechas. Aunque se demuestra que la media del T2 tuvo una mayor producción de biomasa fracción gruesa y fina en el primer periodo de experimentación. Dando un rendimiento de 0.24 t ha^{-1} de materia seca superior a los 0.030 y 0.055 t ha^{-1} de los T1 y T2. En el segundo periodo de evaluación, el T2 tuvo la mayor producción de biomasa fracción fina. El resultado demuestra que el T1 (0.50 m) tuvo una producción baja (Cuadro 13). No hubo pérdida de plantas durante el experimento.

Cuadro 13. Producción de biomasa en ambos periodos de poda.

Poda	Tratamiento (Altura de poda)	Biomasa F. F. (Fresco)	Biomasa F. G. (Fresco)	Biomasa F. F. (Seco)	Biomasa F. G. (Seco)
1	T1 (0.5 m)	130.53 ^a	133.50 ^a	22.99 ^a	23.27 ^a
	T2 (1.0 m)	314.30 ^a	315.97 ^a	75.63 ^a	74.75 ^a
	T3 (1.5 m)	270.70 ^a	225.51 ^a	41.81 ^a	39.17 ^a
2	T1 (0.5 m)	648.34 ^a	817.84 ^a	150.35 ^a	128.16 ^a
	T2 (1.0 m)	628.34 ^a	716.69 ^a	135.43 ^a	92.80 ^a
	T3 (1.5 m)	677.28 ^a	697.51 ^a	137.17 ^a	111.54 ^a

*Valor promedio de tres repeticiones.

Análisis bromatológico

La cantidad de humedad, proteína y ceniza contenida en las hojas no tuvo diferencias significativas en ambos periodos (Cuadro 14). La cantidad de proteína obtenida en la primera cosecha fue de 16.48% y el 11.78% de ceniza. En la segunda cosecha se registró el 18.52% de proteína contenida en la hoja y el 11.33 de ceniza. Los contenidos de humedad en la hoja fueron de 79 y 76% en la primera y segunda cosecha. Haciendo una comparación entre cosechas, se demuestra que en la segunda poda se obtuvieron los valores más altos, tanto de proteína como de ceniza y menor contenido de humedad. La cantidad de humedad en la hoja estuvo influenciada por la precipitación de 92.2 mm inferior a los 198.6 mm registrados en el primer periodo.

Cuadro 14. Contenido de humedad, proteína y ceniza en las hojas de moringa.

Tratamiento	Cosecha 1			Cosecha 2		
	Humedad (%)	Proteína base seca (%)	Ceniza (%)	Humedad (%)	Proteína base seca (%)	Ceniza (%)
T1	76.83	16.37	10.6	75.62	18.6	11.3
T2	79.50	16.22	12.3	77.17	19.9	11.6
T3	83.81	16.85	12.3	77.44	17.7	11.0

El Cuadro 15 muestra las correlaciones entre las variables estudiadas con una correlación positiva de la altura del árbol y la producción de biomasa fracción fina y el diámetro del tallo y la producción de biomasa fracción gruesa. Se encontró una correlación significativa ($p < 0.05$) entre el peso seco del tallo y el peso seco de las hojas.

Cuadro 15. Correlaciones entre las variables registradas en la producción de biomasa de moringa.

Variables	Altura árbol	Altura poda	Diámetro	Hoja P.F.	Tallo P.F.	Hojas	Hoja P.S.	Tallo P.S.
Altura árbol	1.00	0.19	0.09	0.86	0.57	0.24	0.78	0.57
Altura poda		1.00	0.94	0.14	0.23	4.4E-03	0.58	0.56
Diámetro			1.00	0.67	0.86	0.26	0.68	0.98
Hoja P. F.				1.00	0.00	1.1 E-03	2.1 E-09	1.7 E-11
Tallo P. F.					1.00	2.0 E-04	6.0 E-07	0.00
Hojas						1.00	3.8 E-03	5.5 E-04
Hoja P. S.							1.00	4.2 E-11
Tallo P. S.								1.00

P.F.: peso fresco; P.S.: peso seco

Discusión

Previo a la primera poda los arboles de moringa tenían una edad de 3 años. El crecimiento del árbol había sido monopódico, con poca presencia de ramas y una baja producción de hojas, en un suelo franco-arcilloso, con pocas labores culturales y sin ninguna fertilización. Por la compactación que presenta el tipo del suelo se vió limitado el desarrollo de la raíz alcanzando una profundidad de 60 cm, ocasionando en algunos casos bifurcación.

El desarrollo de este cultivo está asociado al tipo de clima, suelo, pH y manejo. Estos factores determinan la altura, el diámetro del tallo y la producción de biomasa (Martínez *et al.*, 2014). Es por ello que al comparar dos cultivos de moringa en diferentes localidades muestras, grandes diferencias en los componentes del rendimiento. Moringa puede llegar a alcanzar grandes rendimientos en altas densidades y en diferentes frecuencias de corte (Castillo *et al.*, 2013).

Para fomentar la ramificación se debe podar a 1 o 2 m de la altura del árbol o recortando las ramas a 30 cm por arriba de un nudo (Palada y Chang, 2003). Moringa tiene gran capacidad de rebrote y en épocas lluviosas debe podarse en periodos más cortos

(Soliloquios, 2010; Foidl *et al.*, 2011). Las condiciones del lugar permitieron obtener buenos resultados al realizar podas en periodos de 60 días.

Este experimento demostró que la altura optima de poda es a 1 m de altura con un diámetro de tallo de 137.84 (\pm 16.92) mm logrando buena producción de biomasa en un periodo de 60 días. Aunque hubo gran cantidad de rebrotes, éstos no influyeron en la producción de biomasa debido a su tamaño.

Trabajos realizados en Cuba determinaron que la altura de la poda influye directamente en la producción de biomasa y contenido proteico (Santiesteban *et al.*, 2012). Pues a mayor altura de poda mayor acumulación de agua y metabolitos (Isah *et al.*, 2014), pero uno de los bajos rendimientos fue obtenido en el tratamiento con poda a una altura de 1.5 m siendo ésta la poda más alta en la primera cosecha. Esto resultó diferente a lo obtenido en podas de 2 m, las cuales fueron más productivas comparadas con las podas realizadas a alturas de 1, 1.3 y 1.7 m y sin tener efecto en el diámetro del tallo (Murrieta, 2014).

Algunas investigaciones recomiendan podar a 20 cm para lograr mayor producción de biomasa (Montesinos, 2010). Sin embargo, se ha encontrado que la producción también se ve influenciada por la frecuencia de poda, altura de la poda y diámetro del tallo este último tiene que ser mayor a 5 mm, estas variables influyen en la supervivencia de la planta (Reyes *et al.*, 2006; López *et al.*, 2012). Otras investigaciones afirman que cortes a alturas inferiores de 40 cm no rebrotan y el corte óptimo para plantaciones frondosas es de 40-150 cm (Lawal *et al.*, 2015), demostrando que moringa tiene gran capacidad de rebrote (Amaglo, 2006; López *et al.*, 2012; Mackenzia y Cun, 2015). Las podas 15-50 cm se utilizan en cultivos intensivos permitiendo realizar hasta 9 cosechas al año (Orona *et al.*, 2015). Aunque la producción de hojas a diferentes alturas de corte puede variar de cosecha en cosecha y puede no tener diferencias significativas al analizarse a través del tiempo (Padilla *et al.*, 2014).

El contenido proteico entre tratamientos fue similar, tal como lo afirma Castillo *et al.*, (2013) la altura del corte tiene poca influencia en la composición química de las hojas y tallos de moringa. El contenido promedio de humedad en la hoja fue del 77.5% y 17.5% de proteína superior a lo reportado por Tapia *et al.*, (2012) en un cultivo con frecuencia

de corte de cada 45 días. Esto explica que a mayor frecuencia de corte existe mayor concentración de proteína encontrándose hasta el 22.8% de proteína en periodos de cosecha de 75 días (Reyes, 2006) y 23-27% de proteína cruda en hojas en periodos de corte de 100 días (González, 2013). En periodos más largos hay mayor porcentaje de nutrimentos (Bamishaiye *et al.*, 2011). El porcentaje de ceniza contenido en las hojas de moringa fue de 11.78%, superior a 9.84% obtenido de un rendimiento de 4.51 t ha⁻¹ de materia seca con cortes de 45, 60 y 75 días (Flores y Duarte, 2004). La producción de biomasa fresca está influenciada por la altura y frecuencia de corte con efectos crecientes y positivos alcanzando los más altos rendimientos a la altura de 40 cm y con frecuencia de corte de 60 días (Fonseca *et al.*, 2015). Densidades de 40,000 plantas ha⁻¹ pueden llegar a producir 4.24 t ha⁻¹ en cortes de 90 días (Castillo *et al.*, 2013). El rendimiento de moringa es mayor comparado con cultivos de Quelite (*Cnidocolus aconitifolium*) y Leucaena (*Leucaena leucocephala*) (Narváez y Moreno, 2005). En este caso el más alto rendimiento promedio obtenido correspondió a la altura de 1.50 m.

La producción de biomasa se vio afectada por la cantidad de precipitación en el periodo de evaluación, debido a que las podas deben realizarse en épocas de lluvias y no en verano (Costa, 2011). Ocasionando que los brotes fueran más cortos y delgados, resumiéndose en una baja producción de biomasa (Mommer *et al.*, 2006). Además, la frecuencia de corte (periodos más largos) permite que la planta acumule reservas durante periodos de tiempo promoviendo rebrotes más vigorosos (Jarquín *et al.*, 2003).

3.4 CONCLUSIONES

Moringa tiene gran resistencia y responde bien a la poda. Es por ello que normalmente se recomienda esta práctica que permite incrementar la ramificación y por ende, aumentar la producción de hoja (follaje) y facilitar la cosecha. En este caso, aplicando podas a 0.50, 1.00 y 1.50 m de altura no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas. El tratamiento de poda a 1.00 m de altura tuvo la mayor producción de biomasa fracción fina respecto a que en la primera cosecha y el tratamiento de 1.50 m la segunda cosecha. promediando ambas cosechas la mayor producción correspondió al tratamiento de 1.50 m. El crecimiento de los brotes permitió una producción aceptable de hojas en ambas cosechas y el periodo de 60 días concentró cantidades importantes

de proteína, en un cultivo de tres años. Se recomienda realizar podas en moringa para promover la producción de biomasa, a una frecuencia de corte de 60 días acorde a los niveles de precipitación y manejo de la plantación. Con base en los resultados obtenidos se observó que los crecimientos de los rebrotes tuvieron diferencias significativas, pero se obtuvo una producción similar de biomasa entre los tratamientos. Por tanto, no se encontraron elementos suficientes para aceptar la hipótesis.

3.5 LITERATURA CITADA

Adedapo, A. A.; Mogbojuri, O. M. and Emikpe, B. O. 2009. Safety evaluations of the aqueous extract of the leaves of *Moringa oleifera* in rats. Journal of Medicinal Plants Research. 3(8): 586-591.

Amaglo, N. 2006. How to Produce Moringa Leaves Efficiently?. Disponible en http://miracletrees.org/moringadoc/how_to_produce_moringa_leaves_efficiently.pdf _ consultado el 15 de mayo de 2016

Bamishaiye, E. I.; Olayemi, F. F.; Awagu E. F. and Bamshaiye O. M. 2011. Proximate and Phytochemical Composition of *Moringa oleifera* Leaves at Three Stages of Maturation. Advance Journal of Food Science and Technology. 3(4): 233-237.

Castillo, A.; Castillo, C.; Ramírez, J. B.; Ávilas, L. y Cantos, R. 2013. Efecto de la densidad y frecuencia de la poda en el rendimiento y calidad de la *Moringa oleifera* Lam. XIII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPP) 87 p.

Costa, A. 2011. Moringa el árbol de la vida y sus virtudes. Disponible en

<http://afrentarelcancerjuntoalafamilia.ning.com/profiles/blogs/>.

Flores, B. A. L. y Duarte, F. J. 2004. Producción de biomasa de *Moringa oleifera* bajo diferentes densidades de siembra y frecuencias de corte en el trópico seco de Mañagua Nicaragua. Tesis Ingeniería Zootecnista. Facultad de Ciencia Animal. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua 59 p.

Foidl, N.; Mayorga, L. y Vásquez, W. 2011. Utilización del marango (*Moringa oleifera*) como forraje fresco para ganado Disponible en: [biomasa@ibw.com.nihttp://www.fao.org/ag/aga/AGAP/frq/AGROFOR1/Agrofor1.html](http://www.fao.org/ag/aga/AGAP/frq/AGROFOR1/Agrofor1.html) .

Fonseca, R. F.; Molinet, A. S.; Santiesteban, R. S.; Anaya, K. T. y Torres, M. V. 2015. Efecto de combinaciones de altura y frecuencia de corte sobre el rendimiento de la Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) en Granma. Revista Granma Ciencia. 19 (2): 1-7. http://www.grciencia.granma.inf.cu/vol%2019/2/2015_19_n2_a2.pdf

- González, C. E. 2013. Determinación del momento óptimo para el corte de forraje de *Moringa oleifera* vc. *Supergenius* en el período lluvioso. IV Congreso internacional de producción animal tropical. La Habana, Cuba 4452 p. http://siproduce.sifupro.org.mx/seguimiento/archivero/19/2013/anuales/anu_361-25-2014-05-16.pdf
- Isah, A. D.; Bello, A. G. and Zarumaye, S. A. 2014. Effects of cutting heights and interval of cutting on the yield of *Moringa oleifera* (horse raddish). International Journal of Development and Sustainability. 3 (5): 1147-1151.
- Jarquín, J.; M. Jarquín y N. Reyes. 2003. Producción de biomasa de *Moringa oleifera* bajo diferentes densidades de siembra y frecuencias de corte en el trópico seco de Nicaragua. Tesis Ingeniería Zootecnista. Facultad de Ciencia Animal. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua 59 p.
- Kakengi A. M. V.; Kaijage J. T.; Sarwatt S. V.; Mutayoba S.K.; Shem M. N. and Fujihara T. (2007). Effect of *Moringa oleifera* leaf meal as a substitute for sunflower seed meal on performance of laying hens in Tanzania. Livestock Research for Rural Development.19(8):1.
- Lawal, B. A.; T. F. Olawepo, V. O.; Asaolu, W. B.; Akanbi, M. A. Jolaoso and Ojo A. M. 2015. Effect of Different Methods of Establishment on Growth and Biomass Yield of *Moringa (Moringa oleifera Lam)*. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 8 (4):650-653.
- Lim, T. K. 2012. Edible Medicinal and Non Medicinal Plants, Volume 3. Springer. Dordrecht. 484 p.
- López, M.; Batista, A.; Igarza, J. y Plutín, E. 2012. Evaluación agronómica de la *Moringa oleifera* I Taller Nacional de Moringa Ed.CID, Instituto de Ciencia Animal. Mayabeque Cuba.
- Makkar, H. P. S. and Becker, K. 1996. Nutritional value and antinutritional components of whole and ethanol extracted *Moringa oleifera* leaves. Animal Feed Science and Technology. 63(1):211-228.
- Mackenzia A. A. S. y Cun J. V. C. 2015. Altura de corte en árboles de la especie exótica "moringa" para la producción biomasa en palmales, arenillas. Tesis de grado para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Unidad académica de ciencias agropecuarias. Machala Ecuador. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/3008>
- Martínez P. S.; González, F.; Suárez, C. A. S. y Escobar M. L. M. 2014. Adaptación y producción de biomasa de moringa (*Moringa oleifera Lam.*) en tres localidades del departamento de Santander. 6to Simposio Nacional Forestal 4 p.
- Mendieta, A B.; Spörndly, E.; Reyes, S. N.; Salmerón, M. F. and Halling, M. 2013. Biomass production and chemical composition of *Moringa oleifera* under different

- planting densities and levels of nitrogen fertilization. *Agroforestry Systems*. 87(1): 81-92.
- Mommer, L.; Lenssen, J.; Huber, H.; Visser, E. and De Kroon, H. 2006. Ecophysiological determinants of plant performance under flooding: a comparative study among seven plant families. *Journal of Ecology*. 94:1117–1129. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2006.01175.x
- Mudyiwa, S. M.; Gadzirayi, C. T.; Mupangwa, J. F.; Gotosa, J. and Nyamugure, T. 2013. Constraints and opportunities for cultivation of *Moringa oleifera* in the zimbabweansmallholder growers. *International Journal of Agricultural Research, Innovation and Technology*. 3(1):12-19.
- Murrieta, M. J. R. 2014. Determinación de la altura óptima de poda del cultivo de moringa (*Moringa oleifera*) con fines de producción en la zona de Babahoyo. tesis de grado presentada para obtener el grado de ingeniero agrónomo. ecuador facultad de ciencias agropecuarias escuela de ingeniería agronómica. Universidad técnica de Babahoyo
- Narváez, O. J. E. y Moreno, J. C. L. 2005. Evaluación de la producción de forraje de *Cnidioscolus aconitifolium* (Mill) L.M. Johnst, *Moringa oleifera* (Lam.) y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, para banco proteico en Pacora, San Francisco Libre, Nicaragua. *Ciencia animal*. 54-59.
- Orona, I. C.; Olivares, E. S.; Vázquez, C. V. y Gallegos M. A. R. 2015. Cultivo de árbol de Moringa (*Moringa oleifera*) y sus usos potenciales. Memoria de la XXVII Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED
- Padilla, C.; Fraga, N.; Scull, I.; Tuero R. y Sarduy L. 2014. Efecto de la altura de corte en indicadores de la producción de forraje de *Moringa oleifera* vc. Plain. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 48(4):405-409.
- Palada, M. C. and Chang, L. C. 2003. Suggested Cultural Practices for Moringa. International Cooperators' Guide AVRDC. AVRDC pub, 03-545. http://miracletrees.org/moringa-doc/moringa_suggested_ways_of_cultivation.pdf
- Price, M. L. 2007. The moringa Tree. Echo Technical Note. http://chenetwork.org/files_pdf/Moringa.pdf
- Reyes, N. S.; Ledin, S. and Ledin, I. 2006. Biomass production and chemical composition of *Moringa oleifera* under different management regimes in Nicaragua. *Agroforestry Systems*. 66:231–242.
- Soliloquios. 2010. Podas en Moringa. Disponible en <http://patoagonico.blogspot.com/2010/07/el-tenerlo-amarrado-le-ocasiona-danos.html>.

- Santiesteban, R.; Tamayo, E.; Verdecia, P.; Estrada, J.; Diéguez, J.; Molinet, D., Espinosa, S.; Espinosa, A. y Cordovi, C. 2012. Influencia de la altura y la frecuencia de corte en el rendimiento de *Moringa oleifera*. I Taller Nacional de Moringa. Instituto de Ciencia Animal, Cuba.
- Tapia, D.; Borges, J. A.; Barrios, M. y León, M. 2012. Fertilización foliar en moringa bajo condiciones de vivero. INIA Divulga. 22-25
- Thurber, M. D. and Fahey, J. W. 2009. Adoption of *Moringa oleifera* to combat under-nutrition viewed through the lens of the "Diffusion of innovations" theory. Ecology of Food and Nutrition. 48(3):212-225.
- Valdés, R. O. A.; Pérez, V. A.; Palacios, W. O. M. y Ruiz, H. R. (2014). Potencial de la asociación *Moringa* y *Ricinus* en el subtrópico veracruzano. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 9.1673-1686.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4921709>

CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y CONCLUSIONES

La hipótesis general indica: Existe una relación estrecha entre el crecimiento y la producción de biomasa de *Moringa oleifera* Lam. en función de la humedad del suelo y la frecuencia de poda. De acuerdo a los resultados obtenidos se rechaza la hipótesis general, ya que el crecimiento y la producción de biomasa no reflejó diferencias significativas aplicando diferentes niveles de humedad y podas a diferente altura.

Hipótesis específica uno: el crecimiento y la producción de biomasa de moringa es función de la humedad del suelo. Con base en los resultados obtenidos se rechaza la hipótesis, ya que no existieron diferencias estadísticas significativas en la humedad del suelo y el crecimiento de moringa; además, la altura, el tamaño de diámetro, número de hojas y producción de biomasa fue similar entre tratamientos.

Hipótesis específica dos: el crecimiento y la producción de biomasa de moringa es función de la altura de poda. Con base en los resultados obtenidos se observó que los crecimientos de los rebrotes tuvieron diferencias significativas, pero se obtuvo una producción similar de biomasa entre los tratamientos. Así, el T2 (poda a 1.00 m de altura) presentó una mayor producción de biomasa en la primera cosecha y el tratamiento T3 (poda a 1.50 m de altura) mostró una mayor producción de biomasa en la segunda cosecha. Aunque el T3 presentó mayor cantidad de rebrotes, esto no influyó en la producción de biomasa. Por lo tanto, no se encontraron elementos suficientes para rechazar la hipótesis.

M. oleifera es una planta que toleró bien el estrés hídrico, creciendo de forma progresiva en condiciones de vivero y respondió de manera positiva a las podas promoviendo la ramificación y producción de biomasa en condiciones de campo. Esto permitirá un mayor manejo en el cultivo de moringa para la producción de biomasa fracción gruesa y fina.

ANEXOS Capítulo II



Anexo. Establecimiento del experimento



Anexo. Muestro destructivo.



Anexo. Muestreo destructivo (peso de hoja y tallo).



Anexo. Muestreo destructivo (peso y longitud de raíz).

Capítulo III



Anexo. Cultivo de moringa.



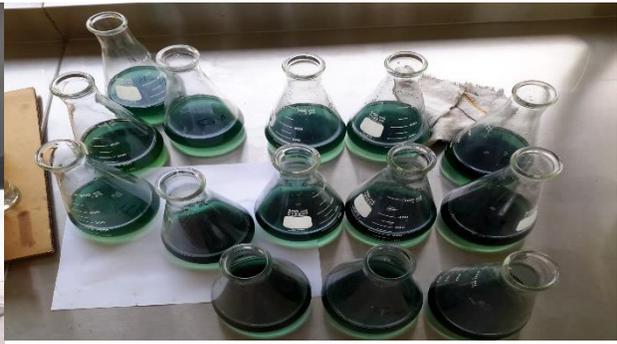
Anexo. Establecimiento del experimento.



Anexo. Rebrotos en las plantas de moringa.



Anexo. Análisis de suelo (determinación de pH)



Anexo. Análisis de suelo (determinación de textura y materia orgánica)



Anexo. Elaboración del perfil de suelo.



Anexo. Análisis bromatológico.