



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE SUELOS



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

**EVALUACIÓN NUTRIMENTAL DE PLANTACIONES DE *Moringa
oleifera* Lam. PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN DE ACEITE**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

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

PRESENTA:

Margarita Esther Mejía Solís



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Chapingo, Edo de México, Junio 2015

EVALUACIÓN NUTRIMENTAL DE PLANTACIONES DE *Moringa oleifera* Lam. PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN DE ACEITE

Tesis realizada por **MARGARITA ESTHER MEJÍA SOLÍS** bajo la supervisión del comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

Director: _____

Dra. María Edna Álvarez Sánchez

Asesor: _____

Dr. Ranferi Maldonado Torres

Asesor: _____

Dr. David Cristóbal Acevedo

DEDICATORIA

A Rosa María Solís Juárez

Caminé en un camino oscuro, lleno de sombras, distante a cualquier evento que sucediera por extraordinario que fuese, me resguardé en un laberinto ajeno al dolor, tratando de ya no sentirlo por tu partida. No sabía cómo llegué hasta aquí, siempre me dijeron que tenía un ángel conmigo ¿Por qué preocuparte por mí, después de todo lo que peleaste en esta vida? Ahora lo sé, estamos unidas por un lazo infinito de partículas invisibles llamadas “amor”, conectadas de esta forma inexplicablemente te siento y me sientes, pero el amor ha dejado de tener explicaciones para mí, ahora sólo lo encuentro como el sentimiento máspreciado para mover mi nuevo mundo. Te amo mamá, gracias.

A Mauricio Cesar Plata Alcántar, por ser una luz en mí camino, gracias con todo mi corazón por todo el impulso que me has dado para lograr mis metas, pero sobre todo, gracias por enseñarme el significado del amor.

A mis hermanas *Martha, Sandra y Carmen*, por ser tan pacientes conmigo, por darme trabajo, por cuidarme desde pequeña y como adulta, por las canciones, paseos y juegos recordados, gracias hermanas.

A mi padre *Margarito Mejía*, por enseñarme a ser una mujer independiente y a trabajar duro para lograr las metas que me he propuesto.

A mis amigas *Claudia, Daniela, Judith, Olivia, Susana y Jorge*, por su apoyo en diversas situaciones, por escucharme, por las bromas, los viajes y por lo divertido y ameno que hacen cada día de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo de México gracias por darme los recursos y la oportunidad de aprender y aplicar más conocimiento científico, mi retribución será de la misma forma.

Al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) porque a través de su administración pude desarrollarme en un posgrado de calidad.

A la Universidad Autónoma de Chapingo por su excelente nivel académico y apoyo para continuar con mi desarrollo profesional.

A la Dra. María Edna Álvarez Sánchez, por su gran dedicación y apoyo en la realización de esta investigación, por sus grandes enseñanzas para formarme como un profesional consciente en cualquier situación laboral, gracias por ser una gran profesora.

Al Dr. Ranferi Maldonado Torres, por sus importantes aportaciones en la investigación, por compartir sus experiencias y consejos para mejorar mi desarrollo académico.

Al Dr. David Cristobal, por su apoyo en la investigación y gestión en el ingreso a la maestría.

A los productores Alejandro Durán López y Miguel Rafael Amador León, por su apoyo y asistencia en la parte experimental del trabajo, por compartir sus experiencias con el cultivo y por su amena compañía durante la realización del trabajo de campo.

A Erika, asistente en el laboratorio de Química de Suelos por su colaboración en el análisis de muestras.

Cuando pones la proa visionaria hacia una estrella y tiendes el ala hacia tal excelsitud inasible, afanoso de perfección, rebelde a la mediocridad, es que llevas en ti el resorte misterioso de un ideal.

José Ingenieros.

No consientas que la imaginación se quede sin aliento, el impulso sin objeto, el porvenir sin color y el cielo sin una estrella en que enganchar un carro para volar al infinito.

Daniel Cosío Villegas

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Margarita Esther Mejía Solís

Fecha de nacimiento: 11 de mayo del año 1983

Lugar de nacimiento: Salvatierra, Guanajuato.

CURP: MESM830511MGTJLR06

Profesión: Licenciada en biología.

Cédula profesional: 09059500



Desarrollo académico

Bachillerato: Escuela Nacional Preparatoria Plantel 8 “Miguel E. Schulz”, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Licenciatura: Licenciada en Biología. Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa (UAM).

Maestría: Agroforestería para el desarrollo sostenible. Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

EVALUACIÓN NUTRIMENTAL DE PLANTACIONES DE *Moringa oleífera* Lam. PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN DE ACEITE

NUTRITIONAL ASSESSMENT OF PLANTS *Moringa oleífera* Lam. TO OPTIMIZE OIL PRODUCTION

Margarita E. Mejía Solís¹, Ma. Edna Álvarez Sánchez²

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue proporcionar recomendaciones de fertilización para producir semilla y aceite de *Moringa oleífera* en plantaciones de 2 y 6 años de edad. Se diseñaron tratamientos a partir del análisis de suelo y el diagnóstico nutrimental foliar mediante índices de balance Kenworthy, al inicio y al final del experimento, por cada tratamiento. Los factores de estudio fueron: fertilización (con y sin fertilización) y edad del cultivo (dos y seis años). Los tratamientos de fertilización se distribuyeron en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones y tres árboles como unidad experimental. Las variables evaluadas fueron: rendimiento de semilla (sin pericarpio), concentración de aceite y concentraciones nutrimentales foliares. La fertilización no tuvo influencia en los componentes de rendimiento y disminuyó significativamente la concentración de aceite. El índice de balance Kenworthy final, mostró que se corrigieron las deficiencias nutrimentales iniciales, pero se incrementaron a nivel de exceso el K, Fe, Cu, Zn, Mn. Dichas concentraciones nutrimentales se correlacionaron negativamente con el contenido de aceite. El exceso de boro en el suelo y las condiciones ambientales limitaron el volumen y el rendimiento de semilla.

Palabras clave: *Moringa oleífera*, Diagnóstico nutrimental, Índices de balance Kenworthy.

ABSTRACT

The aim of this study was to provide recommendations about fertilizing for produce seeds and oil of *Moringa oleífera* on plantations of two and six years old. Treatments were designed from the soil analysis and foliar nutrimental diagnosis by Kenworthy balance indexes, at the beginning and end of experiment, each treatment. The factors were studied: fertilization (with and without fertilization) and crop age (two and six years). The fertilization treatments were distributed in a completely randomized design with five replicates and three trees as experimental unit. The study variables were: seed performance (without pericarp), oil concentration and foliar nutrient concentrations. Fertilization had not influence on yield components and decreased significantly the concentration of oil. The index of the last Kenworthy balance showed that the initial nutritional deficiencies were corrected, but the levels of K, Fe, Cu, Zn, Mn were increased in excess. These nutrient concentrations were correlated negatively with the oil content. The boron excess on soil and environmental conditions limited the volume and performance of the seed.

¹Tesista; ²Director

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1	Características generales de <i>Moringa oleífera</i> , LAM., 1785	4
2.1.1	Distribución	4
2.1.2	Clima	5
2.1.3	Suelos y Topografía	5
2.1.4	Descripción botánica	6
2.1.5	Fenología	7
2.1.6	Semillas.....	7
2.2	Manejo del cultivo	10
2.2.1	Propagación en vivero.....	10
2.2.2	Propagación vegetativa.....	13
2.2.3	Inoculación con micorrizas	15
2.2.4	Indicadores de calidad de planta.....	15
2.3	Propiedades físicas y químicas	16
2.4	Usos y potencial de <i>Moringa oleífera</i>	20
2.4.1	Sistemas agroforestales	20
2.4.2	Alimentación.....	27
2.4.3	Industria química	29
2.5	Nutrición para el óptimo desarrollo de <i>Moringa oleífera</i>	34
2.5.1	Requerimientos nutricionales	34
2.5.2	Potencial de rendimiento de aceite de <i>Moringa oleífera</i>	38

2.6	Criterios y procedimientos para el diagnóstico nutrimental y recomendación de fertilizantes	40
3.	OBJETIVOS	47
3.1	Objetivo general.....	47
3.2	Objetivos específicos	47
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	48
4.1	Zona de estudio	48
4.3	Muestreo, diagnóstico nutrimental y rendimiento inicial de la plantación de <i>Moringa oleífera</i>	51
4.3.1	Muestreo y análisis de tejidos vegetales	51
4.3.2	Muestreo y análisis de suelo	53
4.3.4	Evaluación inicial de rendimiento y contenido de aceite	57
4.3.5	Datos morfológicos iniciales de la plantación.....	58
4.4	Descripción de tratamientos y diseño experimental.....	59
4.4.1	Diseño experimental y análisis de datos	61
4.5	Control de Plagas.....	63
4.6	Diagnóstico nutrimental y rendimiento final	64
4.6.1	Análisis de tejido vegetal y diagnóstico nutrimental final	64
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	69
5.1	Diagnóstico nutrimental del suelo y foliar inicial de <i>Moringa oleífera</i> ...	69
5.2	Diagnóstico nutrimental de suelo y foliar final de <i>Moringa oleífera</i>	72
5.3	Efectos de la edad de la plantación y fertilización en las variables de rendimiento.	78
5.3.1	Efecto de la edad de la plantación	78
5.3.2	Efecto de la fertilización	81

5.4	Efecto principal de los tratamientos edad y fertilización sobre la concentración de nutrientes.....	81
5.5	Efecto de la interacción de edad con fertilización en el rendimiento y concentración de nutrientes.....	86
5.6	Correlación entre variables del rendimiento y concentración nutrimental	89
6.	CONCLUSIONES	93
7.	LITERATURA CITADA	95

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Resultados de análisis de contenido nutrimental en hojas de moringa con inoculación y sin inoculación con micorrizas	14
Cuadro 2. Propiedades físicas de vainas y semillas de Moringa (Foild et al. 2001).....	17
Cuadro 3. Contenido mineral de hojas de Moringa de orígenes agroclimáticos diferentes (Folid et al. 2001)	18
Cuadro 4. Cuadro comparativo de propiedades nutricionales de Moringa oleifera	18
Cuadro 5. Composición química de Moringa oleifera a los 54 días (Perez et al., 2010).....	19
Cuadro 6. Carotenoides en diferentes fracciones morfológicas de Moringa (Foild et al. 2001).....	19
Cuadro 7. Características físico-químicas y composición de ácidos grasos de Moringa Oleifera (Foild et al., 2001).....	31
Cuadro 8. Composición físico-química de aceite de semillas de Moringa oleífera provenientes de Brasil (Da Silva et al. 2010).	32
Cuadro 9. Rendimiento de la semilla de Jatropha Curcas comparada con la semilla de Moringa oleifera en El Salvador	39
Cuadro 10. Rendimiento de semilla y contenido de aceite de Moringa oleífera en dos edades y cuatro ecosistemas (Ayerza, 2012).	39
Cuadro 11. Rendimientos y componentes de rendimientos comparativos de un genotipo entre dos años y entre dos genotipos de moringa (Ayerza, 2010).	40
Cuadro 12. Identificación de las muestras en el primer muestreo para el análisis químico y reporte de resultados.....	51
Cuadro 13. Contenido de nutrientes en hojas y flores en dos muestras compuestas de Moringa oleífera pertenecientes a los dos lotes de estudio.	53

Cuadro 14. Determinación de contenido mineral del suelo y clasificación según NOM-021 (2000)	55
Cuadro 15. Estándares foliares y coeficientes de variación para el cultivo de Moringa oleífera.	56
Cuadro 16. Balance nutrimental inicial de Moringa oleífera mediante índices Kenworthy.	56
Cuadro 17. Clasificación de calidad de agua para las plantaciones de dos y seis años de edad según Jones y Wolf (1984).	57
Cuadro 18. Rendimiento, peso y contenido de aceite de semillas de M. oleífera en la primera floración en época de sequía.	57
Cuadro 19. Adición de nutrientes en la fertilización de suelo para los Lotes 1 y 2.	60
Cuadro 20. Diagnóstico nutrimental final de plantaciones de Moringa oleífera de los seis y dos años de edad.	73
Cuadro 21. Cuadro comparativo del diagnóstico inicial foliar y diagnóstico final de cuatro tratamientos (6SF, 6F, 2SF y 2F) mediante índices de balance.	76
Cuadro 22. Rendimiento de Moringa oleífera con y sin fertilización en dos plantaciones de diferente edad.	78
Cuadro 23. Valores de significancia del efecto de tratamientos en las variables de	80
Cuadro 24. Efecto principalz de la edad en las variables del rendimiento.	81
Cuadro 25. Efecto principal de la fertilización sobre el rendimiento de Moringa	82
Cuadro 26. Valores de significancia de los efectos de los tratamientos sobre la concentración nutrimental de Moringa oleífera.	83
Cuadro 27. Nivel de significancia del efecto de la edadz sobre la concentración nutrimental foliar de Moringa.	84

Cuadro 28. Nivel de significancia del efecto de la fertilización en la concentración de nutrimental foliar de Moringa.	86
Cuadro 29. Nivel de significancia en la interacción edad con fertilización en el rendimiento.	87
Cuadro 30. Nivel de significancia en la interacción edad con fertilización sobre la concentración de nutrientes.	88
Cuadro 31. Correlación de los componentes del rendimiento con la concentración de nutrientes foliares	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución mundial de Moringa oleífera.....	4
Figura 2. Uso potencial de diferentes partes de la planta de moringa en la industria y producción de alimentos (Foidl et al., 2001).	30
Figura 3. Localización de las parcelas L1 y L2 respecto a la huerta (Imagen Google Earth, 2013).....	49
Figura 4. Diagrama de metodología para la evaluación nutrimental y la optimización de la producción de semilla y aceite.	50
Figura 5. Preparación de muestras vegetales (hoja y flor) para el análisis de contenido de nutrientes.....	52
Figura 6. Localización de puntos para la obtención de submuestras de suelo en las parcelas L1 y L2.	54
Figura 7. Equipo tipo Soxhlet para determinar materia grasa de la semilla de Moringa oleífera.	59
Figura 8. Localización de tratamientos dentro de la parcela experimental (Lote 1).....	62
Figura 9. Localización de tratamientos en la parcela experimental (Lote 2).	62
Figura 10. Árboles de moringa fertilizados con el segundo riego de auxilio	63
Figura 11. Digestión de muestras de tejido vegetal y espectrofotómetro de absorción atómica.....	65
Figura 12. Colocación de costales para evaluar rendimiento de moringa en las plantaciones de seis y dos años (izquierda a derecha).	66
Figura 13. Evaluación final de rendimiento de vaina y semilla de M. oleífera..	68
Figura 14. Evaluación final de rendimiento de vaina y semilla de M. oleífera..	68

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Datos de altura y diámetro del cuello de la raíz inicial de todos los árboles de Moringa pertenecientes al Lote 1 (6años de edad) en la Huerta Calvariotitla.	105
Anexo 2. Datos de altura y diámetro del cuello de raíz iniciales de todos los árboles de moringa en el Lote 2 (dos años de edad) de la Huerta Calvariotitla.	109
Anexo 3. Datos de altura y diámetro inicial en el cuello de la raíz de los árboles pertenecientes a las unidades experimentales en la plantación del Lote 1 (6 años) y Lote 2 (2 años)	110
Anexo 4. Concentración final de nutrientes de Moringa oleífera en los tratamientos y cinco repeticiones.....	111
Anexo 5. Media de la concentración de nutrientes de los tratamientos y desviación estándar de las muestras.....	112
Anexo 6. Promedio de los datos morfológicos iniciales y finales de los tres árboles pertenecientes a las unidades experimentales.	113

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de *Moringa* toma cada vez más importancia en los sistemas de producción, debido a las múltiples propiedades y usos de esta especie. Las hojas contienen un alto nivel protéico (mayor al 25%), más vitamina A que la zanahoria, más calcio que la leche, más vitamina C que las naranjas y más potasio que el plátano (Alfaro y Wilfredo, 2008; Amaglo *et al.*, 2010; Del Toro *et al.*, 2011), lo que le confiere importancia en la alimentación humana y en animales como los rumiantes (Pinheiro *et al.* 2008; García *et al.* 2009; Pérez *et al.* 2010; Ghazanfar *et al.* 2011). En la industria química se utilizan extractos de las hojas de *Moringa oleifera* que contienen hormonas promotoras de crecimiento vegetal y son aplicados a otros cultivos por medio de atomizadores (Culver *et al.*, 2012; Abdalla, 2013). Las semillas contienen entre 19 y 47% de aceite con más del 70% de ácido oleico y una cantidad apreciable de tocoferoles (Anwar y Rashid, 2007; Rashid *et al.*, 2011); está considerado dentro de los aceites vegetales como de la más alta calidad, alcanzando un enorme grado de apreciación en la industria para la elaboración de aceite comestible, cosméticos, lubricantes de maquinaria y biodiesel. Por ello la importancia del estudio de los factores que intervienen en el rendimiento de semilla y aceite.

Se han caracterizado las propiedades físicas y químicas de la semilla y aceite de *Moringa*, en Pakistán se reporta un rendimiento de 34.8% de aceite, conteniendo un 73.22 % de ácido oleico (Vlahov *et al.* 2002; Kleiman *et al.* 2008). En Brasil, en una plantación con un rendimiento de 45 toneladas de vainas, el contenido de aceite fue del 39% con un 19% de ácidos grasos saturados y 81% de insaturados, que contienen predominantemente 78% de ácido oleico (Da Silva *et al.*, 2010).

También se han reportado diferencias en rendimiento de vainas, semillas y contenido de aceite en diferentes ecosistemas, edades de árboles y entre variedades genéticas de Sudamérica, con mayores efectos en el rendimiento de

semillas que en el contenido de aceite (Ferreira *et al.*, 2008; Ayerza, 2011 y 2012).

Un estudio realizado por Anwar *et al.* (2006), mostró que diferentes niveles de salinidad del suelo no afectan significativamente el rendimiento de semilla, sin embargo, en zonas de alta salinidad los contenidos de ácido oleico, palmítico, α y β tocoferoles se elevan, en tanto que el ácido mirístico se reduce.

Las diferencias de rendimiento de aceite entre los estudios pueden estar relacionadas con las condiciones nutrimentales del suelo y del cultivo, el clima y la variedad genética (Da Silva *et al.*, 2010).

Es importante generar información nutrimental de las plantaciones de moringa no sólo para aumentar su productividad, también para mejorar la calidad de los contenidos de aceite. Investigaciones en palma de aceite Munevar (2001), indica que el manejo adecuado de la nutrición y prácticas de fertilización tienen una influencia directa con los niveles de productividad de aceite. La palma de aceite requiere una nivelación de nutrientes principalmente N, P, K, Mg y S para obtener óptimos rendimientos.

El análisis de suelo y foliar es una herramienta para diagnosticar el estado nutrimental de los cultivos y tomar acciones de manejo para mejorar los componentes del rendimiento de forma anticipada. La interpretación de resultados de análisis foliares puede realizarse con la técnica desarrollada por Kenworthy (1961). Se considera el valor estándar como el valor igual a la media de la concentración nutrimental de una población de plantas con altos rendimientos. A partir de la desviación del contenido de nutrientes en las muestras foliares contra el estándar se obtienen los índices de balance de nutrientes. El balance de nutrientes en las plantaciones proporciona beneficios económicos y ambientales, incrementando la producción y conservando la fertilidad del suelo.

Con este estudio, se generó información de los requerimientos nutricionales de moringa para su manejo dentro de las tecnologías agroforestales con fines de producción de aceite, que en la actualidad, es escasa y que puede resultar en valor agregado para incrementar la rentabilidad de los sistemas de producción. Por lo tanto el objetivo de esta investigación fue evaluar el estado nutrimental de plantaciones de *Moringa oleífera* en San Gabriel Chilac, Puebla, mediante análisis foliar y de suelo; y, correlacionar el contenido de nutrientes con el rendimiento de semilla y contenido de aceite para optimizar su producción.

2.1.2 Clima

En su hábitat natural, al sur de Asia; las fluctuaciones anuales de temperatura tienden a ser muy marcadas, con temperaturas a la sombra mínimas y máximas oscilando de -1 a 3 ° C y de 38 a 48 ° C durante los meses más fríos y los más calientes, respectivamente (Troup, 1921). La precipitación anual en esta región oscila entre 750 y 2200 mm por lo que es muy resistente a la sequía y se cultiva en regiones áridas y semiáridas de la India, Paquistán, Afganistán, Arabia Saudita y el este de África, en donde la precipitación puede ser de 300 mm (Booth y Wickens, 1988), lo que es bajo, a pesar de que dichos sitios son probablemente irrigados y se caracterizan por poseer un nivel alto de agua subterránea. En Puerto Rico, la moringa se ha naturalizado hasta cierto punto en lugares con una precipitación anual de entre 1000 y 1800 mm (Francis y Liogier, 1991).

2.1.3 Suelos y Topografía

El árbol de *Moringa oleifera* crece en altitudes de hasta aproximadamente 1,400 m a lo largo de los ríos más grandes de su área de distribución natural en aluviones arenosos o guijosos (FAO, 1982). En los sitios en donde ha sido introducido, prospera en lugares al nivel del mar, hasta altitudes de 1,200 m en la mayoría de suelos con textura de ligera a mediana, pero el mejor crecimiento ocurre en francos arenosos (Ramachandran *et al.*, 1980). En Kenya, resultados negativos se reportaron en Alfisoles semiáridos a una altitud de 1560 m (Jama *et al.*, 1989).

En sentido general se puede decir que es una especie de gran plasticidad ecológica, ya que se encuentra localizada en diferentes condiciones de suelo, precipitación y temperatura.

2.1.4 Descripción botánica

Reino Plantae

Orden Brassicales

Familia Moringaceae

Nombre científico *Moringa oleifera*

Sinonimias: *Guilandia moringa* Lam.; *Hyperanthera moringa* Willd.; *Moringa nuxben* Perr.; *Moringa pterygosperma* Gaertn.

Es un árbol siempre verde o deciduo de tamaño pequeño y crecimiento acelerado que usualmente alcanza de 10 a 12 de alto. Tiene una copa abierta y esparcida de ramas inclinadas y frágiles, un follaje plumoso de hojas pinnadas en tres, y una corteza gruesa, blanquecina y de aspecto corchoso. Las flores, de color blanco amarillento, bisexuales fragantes nacen en tallos delgados, peludos en la difusión o caída racimos axilares (panículas) 10-25 cm de largo. Las flores individuales con cinco estambres y un pistilo compuesto de un ovario 1. Los frutos son vainas colgantes, lineales, de tres lados con nueve surcos longitudinales, por lo general de 20 a 50 cm de largo, pero de vez en cuando hasta 1 m de largo o más, y 2,0 a 2,5 cm de ancho. Las vainas, cada uno por lo general contienen hasta 26 semillas. Las semillas miden alrededor de 1 cm de diámetro-metros, con tres alas parecidas al papel blanquecinas en los ángulos. Pesos de semillas difieren entre variedades, que van desde 3000 a 9000 semillas por kilogramo (Parrota, 1993). Las plántulas desarrollan una, raíz principal tuberosa, y las raíces laterales muy dispersos. Los árboles que crecen a partir de semillas desarrollan una profunda raíz pivotante. Raíces pivotantes no se desarrollan en los árboles propagados por estacas.

2.1.5 Fenología

La fenología de floración varía ampliamente entre las variedades y con la ubicación. En su temporada fría en el norte de la India, los árboles pueden florecer una sola vez entre los meses de abril y junio, mientras que en el sur de la India, la floración se produce normalmente dos veces al año. En lugares con temperaturas estacionales más constantes y los regímenes de lluvia, como las islas del Caribe, la floración puede ocurrir más o menos continua durante todo el año. La floración comienza generalmente a una edad temprana, por lo general durante el primer año y, a menudo dentro de los 6 meses después de la siembra. Los árboles con buenas cosechas de semillas en general producen durante unos 12 años. La polinización es por lo general por las abejas y otros insectos, así como de las aves. Los frutos maduros se encuentran a los 3 meses después de la floración, y permanecen en el árbol durante varios meses, la liberación de las semillas que son dispersadas principalmente por el viento y el agua, la germinación es epigea. *M. oleifera* crece rápidamente en los sitios favorables, con incrementos de altura de 1 a 2 m por año durante los primeros 3 a 4 años (Roloff, 2009).

2.1.6 Semillas

Los frutos son vainas colgantes, lineales, de tres lados con nueve surcos longitudinales, por lo general de 20 a 50 cm de largo, pero de vez en cuando hasta 1 m de largo o más, y 2.0 a 2.5 cm de ancho. Las vainas, cada uno por lo general contienen hasta 26 semillas, son de color verde oscuro durante su desarrollo, y toman aproximadamente 3 meses para madurar después de la floración. Ellos se vuelven marrones en la madurez, y se abren longitudinalmente a lo largo de los tres ángulos, la liberación es en la oscuridad, las semillas son marrones.

La producción de frutos comienza a las 6 a 8 meses después de la siembra en el caso de los árboles plantados a partir de esquejes de tallo y rama. La producción de fruta generalmente es baja durante los primeros 2 años, pero a partir del

tercer año en adelante, un solo árbol puede producir entre 600 y 1600 frutos cada año (Roloff, 2009).

Cada árbol puede producir de 15 000 a 25 000 semillas por año (Foild *et al.*, 2003). Las semillas son de color pardo oscuro, globulares y de aproximadamente 1 cm de diámetro, con tres alas parecidas al papel blanquecinas en los ángulos. Los pesos de semillas difieren entre variedades, que van desde 3000 a 9000 semillas por kilogramo. Dos muestras de 100 semillas previamente limpiadas en Puerto Rico promediaron 0.325 ± 0.5 y 0.310 g por semilla, o entre 3 080 y 3 230 semillas por kilogramo.

Las semillas pueden ser sembradas sin tratamiento previo, ya que la escarificación no afecta las tasas de crecimiento en forma positiva. La profundidad óptima para sembrar las semillas es de 1 a 2 cm.

La tasa de germinación usualmente es de entre 60 y 90 por ciento para semillas frescas. Cuando se almacenan las semillas no retienen su viabilidad por más de 2 meses. En la India, porcentajes de germinación de 60, 48, y 7.5 % fueron reportados para semillas sembradas 1, 2 y 3 meses después de la recolección, respectivamente. Otros estudios indican tasas de germinación de 10 a 60 % para semillas almacenadas por 1 mes. Tanto la germinación como el desarrollo inicial de las plántulas se ven beneficiados por condiciones parciales de sombra.

Becker y Nair (2004) señalan en el caso de una plantación con destino a la producción de semillas no sería recomendable emplear marcos de siembra tan pequeños como en (1 x 1 m), o sea, 10 000 árboles / ha. Afriman además que a medida que transcurra el tiempo se debe ir eliminando árboles, con el fin de que se incremente el área vital para cada planta, acorde con sus necesidades, y así evitar la competencia entre los mismos.

En un estudio realizado por Medina *et al.* (2007) donde se evaluó la germinación y desarrollo de las plántulas de moringa, se encontraron porcentajes de germinación de 100% en bolsas de nylon negro horadadas de 1 kg y con un

sustrato compuesto por 60% de suelo franco-limoso alcalino, 20% de arena y 20% de estiércol.

Dadas estas variaciones, se ha elaborado un paquete tecnológico para el establecimiento de un huerto productor de semilla de moringa en la Universidad Autónoma de Sinaloa (Perez *et al.*, 2010). Para este paquete, la Fundación Produce Sinaloa cuenta con tres variedades denominadas Culiacán, Cajeme y UAS.

En las vainas de la variedad Sinaloa se encuentran de 10 a 20 semillas, el momento de recolección es cuando la cápsula está totalmente seca, lo que ocurre generalmente entre mayo y junio, justo antes de la temporada de lluvias; para su recolección se pueden usar ganchos o cualquier herramienta que permita desprender las vainas del árbol.

Bosh (2009) plantea que para la producción de semillas se deben sembrar entre 700 y 1100 árboles de *M. oleífera* por hectárea, con un marco de siembra de (3 x 3 o 3 x 4), donde la productividad individual de cada árbol sería mayor por que recibe más nutrientes, más luz, etc. y por ende habrá una menor competencia entre las mismas y existirá un mayor crecimiento y producción.

De las semillas se extrae un floculante natural tipo polielectrolito con función aniónica y catiónica, el cual sirve para la purificación de agua potable y para la sedimentación de partículas minerales orgánicas en aguas residuales. Asimismo es útil en la industria de pulpas y jugos para flocular y sedimentar fibras, y en la industria cervecera para la sedimentación de levaduras, con lo que se elimina la turbidez y le da brillo a la bebida.

Las semillas contienen entre un 30 y 42% de aceite y su torta contiene 60% de proteína (Foidl *et al.*, 2003). Fugliee (2000) señala que el jugo de las plantas de moringa puede utilizarse para producir una hormona que es efectiva para el crecimiento de las plantas, y aumenta el rendimiento en un 25-30% para casi todos los cultivos.

2.2 Manejo del cultivo

2.2.1 Propagación en vivero

Para la producción de *Moringa oleífera* en vivero es importante conocer la procedencia de la semilla. Se pueden conseguir variedades que produce la Universidad Autónoma de Sinaloa. Es importante obtener la fuente de colecta, las cuales pueden ser: recolección con manejo y fuentes de recolección sin manejo, estas se diferencian si han tenido un tratamiento de mejoramiento genético.

Los datos de colecta importantes son: nombre del colector; número de colecta, fecha de colecta, nombre científico de la especie, nombre común, clave del ejemplar, fuente de germoplasma; localización, entidad, comunidad, municipio, predio; suelo, grado de erosión, profundidad, textura, exposición, pendiente, drenaje; vegetación natural; datos del árbol, altura total, altura al fuste, cobertura, DAP, peso de semillas (CONACYT-CONAFOR, 2002).

La recolección de semilla se realiza generalmente en mayo y junio, antes de la temporada de lluvias. Los frutos se secan en el árbol para posteriormente ser cosechados a mano o por medio de ganchos, palos o alguna herramienta que permita desprender las vainas. Los frutos se abren y se extraen las semillas, se descartan aquellas que presenten una coloración blanca o tamaño pequeño. La semilla se puede almacenar en un costal de polipropileno tejido en un lugar fresco.

El pre-tratamiento que podría utilizarse para inducir la germinación consiste en remojar las semillas por 24 horas en agua a temperatura ambiente, después de este tiempo las semillas están listas para ser sembradas. Para la preparación de sustratos se recomienda una mezcla de 50% de suelo franco-limoso alcalino, 25% de Peat moss y 25% de abono orgánico (humus de lombriz o estiércol), se recomienda esterilizar el suelo utilizado.

Para la siembra se pueden utilizar semilleros para árboles con cavidades de 180 a 250 mL, deben ser más largas que anchas, para un buen desarrollo de raíz principal. Los contenedores se llenan con el sustrato preparado y se compacta golpeándolos un poco con el suelo, en seguida con un instrumento de alrededor de 1.5 o con el dedo se agujera en el centro a una profundidad de 2 cm y se coloca una semilla que se tapa con el mismo sustrato. Una vez llenos los semilleros se riegan con agua, posteriormente los semilleros se colocan bajo sombra, encima de mesas y protegidos de aves e insectos.

Los riegos de germinación son dependiendo de la humedad ambiental, se puede regar cada tercer día. La germinación ocurre entre 4 y 10 días después de la siembra. Una vez que se presenta la germinación, los semilleros se llevan a un lugar soleado. En invernadero una malla- sombra de 50% de luz es apropiada.

Fertilización y riegos durante la etapa de semillero. Se puede aplicar por cavidad 50 mL de una solución con un gramo de Triple 17 y 0.2 gramos de nitrato de calcio por litro de agua. Los riegos se aplican a diario, pueden realizarse por aspersión mecánica o con alguna regadera manual. Para evitar hongos debe evitarse una humedad excesiva en la plántula, también debe tenerse cuidado de no golpear las plántulas con el chorro de agua para no ocasionar que se doblen o rompan.

Monitoreo de plagas y enfermedades. La moringa es muy resistente a plagas y enfermedades, sin embargo debe realizarse una inspección al semillero una vez por semana. Las plagas más comunes son las hormigas (*Atta* sp.) y gusanos cogollero (*Heliothis zea*), peludo (*Estigmene acrea*) y medido (*Trichoplusi ni*). Existen otras plagas y enfermedades que atacan el cultivo, especialmente en invierno y primavera, como el gusano barrenador del tallo (*Ditraea* sp.) y mosquita blanca (*Bemisia* sp.), la afectación de esta última no es grave. Algunos hongos que provocan la pudrición del tallo y raíz (*Phytophthora* sp.) por lo que se debe estar atento a la aparición de cualquier síntoma como son marchitamiento, hojas amarillas y caída de hojas o pudrición de la base del tallo.

Para el control de plagas como la hormiga arriera se puede aplicar un cebo que contenga Patrón CG o FMC. Sin embargo se han observado buenos resultados protegiendo cada árbol con un cono de plástico o bolsa colocada en forma de cono en el tallo principal. Cuando el ataque es muy severo se asperja sobre la plántula una solución de Cipermetrina 20 mL por cada 20 L de agua. El ataque por los hongos se puede combatir aplicando 20 mL de la mezcla Ridomil (100mL/20 L), Previcur energy (150mL/20L de agua) (Pérez, 2010).

Trasplante a bolsas. Dependiendo de las condiciones climáticas se podrá trasplantar a bolsa o a raíz desnuda, si el trasplante está programado para el inicio de lluvias se debe descartar el uso de bolsas, ya que con las lluvias las plántulas podrán desarrollar completamente su raíz, si se busca trasplantar a final de lluvias el empleo de bolsas es necesario. Para el trasplante se usan bolsas de polietileno negras de 25X50 cm con agujeros en el fondo, se llenan hasta 3 cm de su borde con tierra de aluvión o tierra muerta con 20% de abono orgánico (estiércol o humus de lombriz). Cuando la bolsa contenga la tierra se hace un hoyo con un palo hasta el fondo, se extrae del semillero una plántula, empujando desde el fondo de la cavidad con el dedo y se coloca en la perforación hecha en la tierra. El riego cuando las plantas se encuentran en la bolsa es de una vez por semana.

Trasplante. Cuando las plantas alcancen una altura de 50 cm en la bolsa deben trasplantarse. Para efectuar esta labor el terreno debe estar húmedo, se deben realizar hoyos de 50 cm con una pala pocera y en cada agujero se debe colocar una planta, para extraer la planta la bolsa se abre con una navaja. Se coloca en el agujero y se tapa con tierra, inmediatamente después se agrega una cubeta con agua para asentar la tierra. Posteriormente se elabora un cajete de aproximadamente 80 cm alrededor del árbol recién plantado para captar agua durante las lluvias (Pérez, 2010).

2.2.2 Propagación vegetativa

La moringa se propaga fácilmente por estacas, pero es difícil propagarlo por acodos aéreos. En el sur de la India, estacas de ramas grandes de 1 a 1.4 m de largo y de 4 a 5 cm de diámetro son plantadas típicamente durante la temporada lluviosa del verano. Se reporta que plantas obtenidas de semillas producen fruta de calidad inferior y se tardan más en producirla. Estacas de tallos de buen tamaño sembradas en suelo húmedo arraigan fácilmente y obtienen en pocos meses el tamaño de un árbol. Sin embargo, algunos estudios sugieren que los árboles obtenidos al sembrar semillas producen raíces más largas que aquellos procedentes de estacas, y serían preferibles para plantaciones establecidas en regiones áridas y semiáridas en donde suelos inestables y la profundidad del agua subterránea ponen límites al crecimiento. En el norte de la India el éxito en obtener arraigamiento de acodos fue mayor durante la primavera que durante la estación lluviosa del verano o los meses más templados del invierno. En estos estudios, los acodos de tallos de 2 años de edad, de 30 cm de alto y 0.75 a 2.0 cm de diámetro, arraigaron con mayor facilidad que los acodos de tallos de un año. Porcentajes de arraigamiento se optimizaron con ácido indol-butírico, una hormona reguladora del crecimiento, en concentraciones de 50 ppm por un período de 24 horas antes de plantar. Estacas de ramas grandes de 1 a 2 m de longitud se usan frecuentemente con buenos resultados, siempre que sean sembradas a una profundidad de 50 cm (Parrota, 1993).

La moringa rebrota vigorosamente después de cortada, produciendo de cuatro a ocho renuevos por tocón. Árboles cultivados por su fruta y para forraje frecuentemente se desmochan para restringir el desarrollo de la copa y promover el crecimiento de nuevas ramas. Las estacas de moringa cortadas a finales de la época seca, presentan un prendimiento del 95% y 90% de supervivencia. Para la obtención de estos altos porcentajes, las estacas se dejan enraizar con sus propias reservas y posteriormente se trasplantan al terreno definitivo, el cual debe tener un buen régimen de humedad. Una vez cortadas las estacas, una buena

práctica para el enraizamiento es colocarlas verticalmente bajo sombra y enterrarlas unos 10 cm del suelo (Reyes, 2004).

Cuadro 1. Resultados de análisis de contenido nutrimental en hojas de moringa con inoculación y sin inoculación con micorrizas

	----- Contenido de nutrientes, % -----							
Parcelas*	2	3	6	7	1	4	5	9
N								
Hojas superiores	3.59	3.17	2.99	2.86	2.15	2.24	2.20	2.02
Hojas inferiores	3.40	3.07	2.98	2.80	1.15	1.18	1.35	1.01
Diferencia	0.18	0.10	0.01	0.06	1.0	1.06	0.85	1.01
P								
Hojas superiores	0.25	0.22	0.23	0.21	0.28	0.30	0.28	0.26
Hojas inferiores	0.22	0.18	0.20	0.18	0.12	0.12	0.12	0.11
Diferencia	0.03	0.04	0.03	0.03	0.16	0.18	0.16	0.15
K								
Hojas superiores	1.22	1.27	0.80	1.27	1.45	1.45	1.58	1.62
Hojas inferiores	1.12	1.06	0.80	1.10	0.69	0.65	0.80	0.70
Diferencia	0.10	0.21	0.00	0.17	0.76	0.80	0.78	0.92
Ca								
Hojas superiores	1.02	1.02	1.56	1.50	0.66	0.65	1.06	1.04
Hojas inferiores	1.04	1.04	1.64	1.64	2.20	2.22	2.90	2.85
Diferencia	0.02	0.02	0.08	0.14	1.54	1.57	1.84	1.81
Mg								
Hojas superiores	0.12	0.12	0.30	0.30	0.10	0.10	0.18	0.18
Hojas inferiores	0.14	0.13	0.36	0.32	0.41	0.31	0.73	0.72
Diferencia	0.02	0.01	0.06	0.02	0.31	0.21	0.55	0.54

Parcelas inoculadas (2, 3, 6, 7), no inoculadas (1, 4, 5, 9)

2.2.3 Inoculación con micorrizas

Pita *et al.* (2012) realizaron un estudio para comparar el estado nutricional de las plantas inoculadas con las no inoculadas, a los seis meses de plantación. La inoculación se llevó a cabo con la especie *Glomus fasciculatum* y se midió la respuesta mediante análisis foliares determinando los niveles de N, P, K, Ca, Mg, encontrando un mejor estado nutricional en plantas inoculadas. En el siguiente cuadro se muestran los resultados de los análisis foliares de las muestras obtenidas en las diferentes parcelas experimentales.

2.2.4 Indicadores de calidad de planta

Medina *et al.* (2007) realizaron un estudio con la finalidad de evaluar la germinación, altura de la planta, diámetro del tallo, número, longitud y diámetro de las ramas, la cantidad de hojas por rama y la tasa de crecimiento; la sobrevivencia e incidencia de plagas y enfermedades de *Moringa oleifera* y *Leucaena leucocephala* cv. *Cunningham*. Al final de la evaluación se observaron diferencias estadísticas ($P < 0,05$) a favor de *M. oleifera* en el diámetro del tallo y ramas, la longitud de la rama y la cantidad de hojas por rama.

El estudio es interesante para obtener información del crecimiento en vivero de la planta, sin embargo no hay un estudio que correlacione estas características con su desempeño en el campo, por lo que se propone que las siguientes características pueden ser buenos indicadores de calidad para el buen desempeño en campo de la moringa. Los indicadores de calidad dependen de diferentes factores, por ejemplo la radiación solar, humedad disponible, competencia intra e interespecífica, los objetivos de la plantación y los recursos económicos para realizar pruebas.

El diámetro a la base del tallo es un buen indicador de sobrevivencia en campo, ya que esta planta puede desarrollarse en ambientes áridos y semiáridos que requieren un diámetro más grueso (Liu *et al.*, 2012). Sin embargo, también puede desarrollarse en climas tropicales, por lo que un buen indicador de supervivencia

podría ser la altura, ya que en estos ambientes hay una mayor competencia por luz y moringa es una especie que requiere de altos niveles de radiación solar. El número de raíces laterales de primer orden también puede ser un buen indicador de calidad, ya que al aumentar la superficie se tiene una mayor absorción de agua y nutrientes. En caso de que el objetivo de producción sea obtener forraje para ganado, es importante la concentración de nutrientes en las hojas, por lo que pueden realizarse dos pruebas fisiológicas para determinar calidad, una prueba sería un análisis bromatológico y la otra podría ser tensión hídrica. Con un equilibrio en el estrés hídrico se puede tener un transporte adecuado de nutrientes, por lo que las hojas pueden tener una concentración adecuada. Por otro lado se puede correlacionar la morfología de la raíz con la concentración de nutrientes en las hojas ya que si se tiene una raíz fibrosa podrá absorber mayor cantidad de nutrientes y agua, por lo tanto podría tener una concentración de nutrientes adecuada en el follaje. No se debe aplicar un solo indicador a la planta ya que el buen desempeño de moringa depende de una variedad de ellos, como son: altura, diámetro basal, número de follaje, número de raíces laterales de primer orden, también se puede incluir el análisis bromatológico y de estrés hídrico (Rodríguez, 2008).

2.3 Propiedades físicas y químicas

El conocimiento de la composición física y química de las diferentes estructuras de *Moringa oleífera* toma cada vez más importancia debido a sus múltiples utilidades en la alimentación humana, medicina, cosmetología, industria aceitera y en la producción de biodiesel. Estas industrias se basan en una normatividad para la elaboración de productos, por lo que se requiere de calidad en materia prima (hojas, semillas, tallos) con el valor especificado según el objetivo.

Las propiedades físicas de las semillas (Cuadro 2), son de importancia para la producción de nuevos árboles de moringa así como en la elaboración de aceites y semillas para consumo humano.

Las hojas jóvenes, flores y vainas son ricas en K, Ca y Fe entre otros nutrientes (Cuadro 3) además son fuentes de tocoferoles (γ y α), compuestos fenólicos, β - caroteno, vitamina C y proteínas totales, incluyendo los aminoácidos azufrados esenciales, metionina y cisteína (Cuadro 4 y 6). La proteína de la semilla y el contenido de grasa son comparables con los granos de leguminosas importantes como la soja. En la semilla se encuentran ácidos grasos insaturados, especialmente ácido oleico e hidratos de carbono. En general, hay bajas concentraciones de factores antinutricionales en la planta, las semillas poseen glucosinolatos (65.5 μ mol /g de materia seca), fitatos (41g/kg) y actividad de hemaglutinación; en tanto que las hojas tienen cantidades apreciables de saponinas (80g/kg), además de baja cantidad de fitatos (21g/kg) y taninos (12g/kg) (Ferreira *et al*, 2008).

Cuadro 2. Propiedades físicas de vainas y semillas de Moringa (Foild et al. 2001).

Determinación	1*	2*	3*
Peso promedio de fruto (g)	7.6	-	7.95
Peso promedio de las semillas (g) / vaina	3.59	5.03	4.83
Promedio del número de semillas / vaina	12	17	16
Peso promedio (g) / 100 semillas	29.9	29.6	30.2
Peso medio de los granos (g) / 100 semillas	21.2	-	22.5
Por ciento en peso de núcleo en función del conjunto de semillas	72.5	-	74.5
Peso de la cáscara en función del conjunto de semillas (%)	27.5	-	25.5
Humedad en el grano (%)	4.5	-	6.5
Humedad en cascara (%)	9.2	-	12.9
Humedad en la semilla entera (%)	5.8	-	7.5

1*. Ferrao and Ferrao (1970), 2* Carlos Foletti (1996; Personal communication), 3* Proyecto Biomasa (1996).

Cuadro 3. Contenido mineral de hojas de Moringa de orígenes agroclimáticos diferentes (Folid et al. 2001)

Mineral	Nicaragua	India	Niger
Macro elementos (g kg ⁻¹ MS)			
Ca	17.5	26.4	13.9
P	1.16	1.36	1.22
Mg	0.11	0.11	0.11
Na	1.16	2.73	2.61
K	19.1	21.7	18.4
Micro-elementos (mg kg ⁻¹ MS)			
Fe	582	175	347
Mn	47.1	51.8	113.9
Zn	13.5	13.7	24.2
Cu	11.2	7.1	10.6

Cuadro 4. Cuadro comparativo de propiedades nutricionales de Moringa oleifera

Nutrientes	Testigo	Química	Organica	Literatura	Prueba de Ho
Proteínas (g)	6.23	8.53	4.75	6.7	Igual
Carbohidratos(g)	11.65	12.31	12.94	13.4	Igual
Lípidos (g)	0.96	0.78	1.94	1.7	Menor
Fibra (g)	1.89	1.96	2.04	0.9	Mayor
Ca (g)	0.28	0.6	0.55	0.44	Igual
P (g)	0.017	0.021	0.035	0.07	Menor
K (g)	0.195	0.925	0.503	0.259	Igual
Na	0.184	0.16	0.124	0.0159	Mayor
Fe (g)	0.008	0.008	0.008	0.007	Mayor
Mg (g)	0.052	0.077	0.089	0.024	Mayor
Zn (g)	0.001	0.001	0.001	0.0255	Menor
Vitamina C (mg)	170	174	188	220	Menor
Vitamina A (mg)	2.8	3.24	2	3.39	Igual
Vitamina B1 (mg)	1.04	0.84	0.89	0.21	Mayor
Vitamina B2 (mg)	3.96	3.6	3.2	0.05	Mayor

Otros resultados de análisis bromatológicos se presentan el Cuadro 4, en el cual se evalúa el efecto de fertilizantes químicos y orgánicos sobre el estado nutricional de moringa (Del Toro *et al.*, 2011). Además el análisis en una plantación con 54 días de edad (Cuadro 5).

Cuadro 5. Composición química de Moringa oleifera a los 54 días (Perez et al., 2010).

Indicador	Hojas	Tallos	Hojas y tallos
Materia seca (%)	89.60	88.87	89.66
Proteína (%)	24.99	11.22	21.00
Extracto etéreo (%)	4.62	2.05	4.05
Fibra cruda (%)	23.60	41.90	33.52
Ceniza (%)	10.42	11.38	10.18
Extracto no nitrogenado (%)	31.25	33.45	31.25
Energía digestible (Mcal/kg MS)	2.81	1.99	2.43
Energía metabolizable (Mcal/kg MS)	2.30	1.63	1.99

Cuadro 6. Carotenoides en diferentes fracciones morfológicas de Moringa (Foild et al. 2001).

Carotenoide	Fracción morfológica, -----mg kg ⁻¹ -----		
	Hojas	Tallo	Semilla
Alfa-caroteno	6.5	n.d.	n.d.
Beta-Caroteno	401	n.d.	3.8
Equinenona	n.d.	n.d.	n.d.
Fucoxantina	n.d.	n.d.	n.d.
Luteína	702	21.8	4
Mixoxantofila	n.d.	n.d.	n.d.
Neoxantina	219	5.9	n.d.
Violaxantina	76.5	1.3	n.d.
Zeaxantina	19.4	n.d.	n.d.
Xantófila	83.1	1.6	n.d.
Carotenos	1508	34.4	4
Clorofila	6890	271.1	n.d.*

*nd. No detectado

2.4 Usos y potencial de *Moringa oleífera*

La *Moringa oleífera* puede ser utilizada como materia prima en diversos sistemas de producción para la industria tanto cosmética, farmacológica, sanitaria, agronómica, alimenticia, entre otras. Se presenta beneficios que son numerosos desde la perspectiva utilitaria del árbol.

2.4.1 Sistemas agroforestales

El árbol de moringa brinda una innumerable cantidad de productos valiosos que las comunidades han aprovechado por muchos años. Dentro de sus características en sistemas agroforestales se tienen: puede crecer como cerca viva o cortina rompevientos, evita la erosión de suelo en zonas con períodos fuertes de sequía y vientos fuertes, de buena adaptación y buena producción de leña y madera, proporciona sombra poco densa, útil para sistemas de intercultivos (Folkard y Sutherland, 1996).

Moringa oleífera es un árbol multipropósito, el potencial de uso tanto de sus hojas, semilla, flor, raíz lo hace muy atractivo, sin embargo no hay suficientes reportes de su producción en sistemas agroforestales. El árbol de moringa puede cultivarse en diferentes tecnologías de los Sistemas Agroforestales como son: cultivo en callejones, barreras vivas, cortinas rompevientos, cerco vivo, bancos forrajeros mixtos, etc. A continuación se describe el establecimiento de barreras vivas y cortinas rompevientos de moringa.

Cortinas rompevientos

Las cortinas rompevientos son hileras de árboles o arbustos de diferentes alturas que forman una barrera, opuesta a la dirección predominante del viento, alta y densa que se constituye en un obstáculo al paso del viento. Se conocen también como barreras rompevientos, setos vivos o fajas de albergue, por refugiar a cierto tipo de fauna. Es una práctica para el control de la erosión eólica, se usa en áreas agrícolas, pastizales, áreas desprovistas de vegetación y en zonas urbanas.

Objetivos: Reducir la velocidad del viento en parcelas con fines agropecuarios; reducir el movimiento del suelo; conservar la humedad; reducir la acción mecánica del viento sobre cultivos, huertas, ganado y fauna silvestre; regular las condiciones del microclima; o Incrementar la belleza natural de un área; brinda una producción agrícola y forestal constante.

Las cortinas rompevientos con árboles de uso múltiple son alternativas de producción diversificada, que mejoran los ingresos. Aumenta la producción agrícola en el área de protección de la cortina, en comparación al rendimiento de los cultivos en campo abierto. Son fuentes productoras de leña, postes, madera, frutos, insecticida en el caso del neem, forraje y otros productos necesarios para el autoconsumo y comercialización (INIFAP, 2010)

Beneficios: reduce la velocidad del viento. Por el obstáculo que presenta la cortina al flujo de viento, la reducción de la velocidad es máxima en la zona inmediata a la cortina y aumenta a medida que se aleja de esta protección. FAO (1961), reporta que los porcentajes de reducción de la velocidad del viento son de 60 a 80% en la parte más cercana a ésta, y de 20% a distancias 20 veces la altura de la misma; La reducción máxima de la velocidad del viento, se obtiene en el área de protección equivalente a cuatro veces la altura de la cortina.

La altura de la barrera constituye una unidad práctica de medida aplicada a la distancia en que el terreno queda protegido por ésta. Así la distancia de protección es de 14 veces la altura. La velocidad mínima para iniciar el movimiento del suelo (erosionable) está entre 19 y 24 km h⁻¹. La zona de protección de una barrera, se reduce a medida que aumenta la velocidad del viento, lo que exige un espaciamiento menor de las barreras utilizadas para combatir la erosión. Detener la carga del material acarreado. Al disminuir la velocidad del viento parte del material transportado se deposita al no existir ya la energía necesaria para mantener en movimiento las partículas del suelo. Al reducir la velocidad del viento y disminuir el volumen de suelo en movimiento, la cortina resulta eficaz en la reducción del potencial erosivo de las corrientes de

aire, considerando que estos son los principales causantes de la erosión eólica (INIFAP, 2010).

Establecimiento de la cortina rompevientos de *Moringa oleífera*

La preparación del terreno se hace de acuerdo al número de hileras que tendrá la cortina. Una preparación adecuada a lo ancho de la franja, favorecerá el crecimiento inicial de las plantas. Para la preparación del terreno se tienen dos opciones, el uso de maquinaria, si el trabajo es de gran dimensión o en caso contrario la apertura de hoyos para establecer el cultivo. Las dimensiones de los hoyos son de 30 cm de ancho por 50 cm de profundidad. Para obtener una alineación uniforme se recomienda trazar la línea utilizando estaquillado. En los suelos compactados, con capas duras se recomienda el subsoleo.

Plantación: Las plantas a sembrar son las obtenidas con las especificaciones ya descritas de vivero. La época apropiada para el establecimiento de las cortinas es al inicio del período lluvioso ya que la planta cuenta con suficiente agua para su crecimiento. Las plantas son producidas en bolsa, porque favorece la supervivencia de los árboles y permite un desarrollo radicular profundo, lo que propicia la estabilidad de la cortina.

Un procedimiento para plantar es el siguiente: Se quita la bolsa de la planta, se deposita en el fondo del hoyo abono orgánico, para favorecer el enraizamiento, se coloca la planta verticalmente en el hoyo (con el cuidado de no doblar la raíz) y se rellena con tierra orgánica y se apisona suavemente para evitar las bolsas de aire.

Orientación: La cortina debe orientarse en sentido contrario a la dirección del viento dominante (que generalmente proceden del Este), por tanto, las hileras quedan orientadas de norte a sur.

Distancia entre cortina: La distancia apropiada entre cada cortina está determinada por la altura que alcanzarán los árboles, ya que el área de protección

es igual a 10,15 o hasta 20 veces la altura de estos. El tamaño potencial es de 12 m y el área de protección máxima es de 14 veces la altura por lo que la distancia entre cortinas será de 168 m. El diseño de las cortinas considera como elemento fundamental el control de la erosión por viento, de modo que la pérdida no exceda los niveles de tolerancia. El espaciamiento entre cortinas se calcula como: $D = 17H \times (V_{mi}/V_{ac}) \times \cos \theta$ Donde: D es la distancia entre cortinas; H es la altura de la cortina; V_{mi} es la velocidad mínima del viento para provocar movimiento de suelo, medida a 17 m de altura; V_{ac} es la velocidad actual del viento a 17 m de altura; $\cos \theta$ es el ángulo de desviación del viento dominante, medido en la perpendicular de la cortina. Generalmente V_{mi} es igual a 35 km/hr. La ecuación es válida para velocidades menores de 65 km/h.

Permeabilidad: La cortina rompevientos debe permitir el flujo del aire en un 50%, esto significa que el viento atraviesa el rompeviento, la cortina no debe ser muy densa (tupida). La distancia de 2.5 m permite la permeabilidad (SAGARPA, 1995).

Mantenimiento

Replante: Es necesario hacer un muestreo de supervivencia a los 60 días, sobre la base de este resultado se superarán las fallas que se hayan observado durante el primer mes de establecida la cortina, es preferible el 100% de sobrevivencia, para que no hayan huecos a lo largo de la franja forestal.

Control de malezas: La plantación debe estar libre de hierbas, lo que se logra con dos o tres deshierbes a lo ancho de la cortina, este tratamiento se realiza durante los tres primeros años de edad.

Control de fuego: A inicio de la estación seca hay que erradicar todo material de fácil combustión en la línea cortafuego para prevenir la ocurrencia de incendios. La materia orgánica se incorpora al suelo.

Podas: En las cortinas rompevientos no es importante la podas, si la finalidad es obtener leña o frutos y semillas, se realizan podas de formación y fructificación en ramas inferiores, para mejorar la calidad de fuste y fructificación.

Moringa oleífera es un árbol con raíz principal por lo que es muy útil en estos sistemas ya que su raíz profunda lo hace más resistente al viento.

El ambiente ideal para la plantación de moringa puede ser tropical, árido o semiárido. En caso de ser un clima árido no debe permitirse un gran crecimiento, por lo que las podas deben ser frecuentes. El suelo debe ser profundo para que la raíz se desarrolle y cumpla el árbol su función como cortina rompevientos. El suelo debe ser franco- arcilloso ya que requiere de un buen drenaje (SAGARPA, 1995)

Barreras vivas

Las barreras vivas son especies de plantas que se establecen entre los cultivos en forma perpendicular a la pendiente, ya sea en curvas de nivel o en hileras, las cuales tienen la función de reducir la velocidad de escorrentía, provocan la sedimentación y la infiltración; con esto se disminuye la degradación del suelo y se prolonga el uso de la tierra, al mismo tiempo da oportunidad a que la vegetación secundaria (“acahual”) se recupere de la deforestación.

El establecimiento de barreras tiene varias ventajas, las principales son:

1. Es una práctica de conservación de suelo aplicable a todos los sistemas agrícolas de ladera.
2. Retiene la tierra deslavada.
3. Soporta flujos de agua relativamente altos.

4. Proporcionan mayor eficiencia en el control del escurrimiento superficial por la acción filtrante de la vegetación, misma que provoca la acumulación de tierra deslavada, de sedimentos y la formación de capas orgánicas.
5. La capa orgánica (mulch) formada reduce la velocidad de escurrimiento, se favorece el filtramiento de agua al subsuelo y el suelo almacena mayor humedad, de tal forma que se mejoran las condiciones para los cultivos.
6. Se disminuyen las pérdidas de suelo, agua y nutrimentos.
7. Son sencillas, de simplicidad en el diseño y facilidad de mantenimiento.
8. Son económicas y de fácil adopción por parte de los productores.

Manejo y aprovechamiento.

Podas y Aprovechamiento. Toda vez que las barreras se han establecido, se necesitan cortes periódicos para promover el amacollamiento, el rejuvenecimiento de la planta y aprovechamiento del follaje podado. El número de podas debe ser el adecuado, cuando son frecuentes o intensivas, las plantas reducen su altura, reducen la producción de materia verde y pueden llegar a desaparecer (INIFAP, 2013).

Control de Maleza. La presencia de malezas puede ser abundante debido a las condiciones favorables de clima y alta precipitación, por lo que su control es difícil y permanente. Las labores de “chapoleos” se realizan en forma manual, eliminando la maleza presente en los 20-30 cm de ambos lados y a lo largo de las hileras, para ello se utiliza el machete, el azadón o el “huíngaro” una herramienta regional. Esta labor es necesaria particularmente en los dos primeros meses después de su siembra, cuando están en la etapa de establecimiento y arraigo al terreno y en competencia desventajosa con la maleza.

Control de plagas y enfermedades: se ha reportado que algunas plantas son susceptibles a problemas de nematodos y por un complejo fungoso en el suelo durante su establecimiento y desarrollo inicial.

Además de servir como barrera viva en los sistemas agroforestales de ladera como retenedora de suelo, las especies pueden tener otros aprovechamientos: forraje, uso medicinal, artesanal, industrial y generar ingresos económicos adicionales para el agricultor tradicional (INIFAP, 2013).

Establecimiento de barreras vivas

Las plantas de moringa provienen del vivero sembradas en bolsas y con una altura de 50 cm. La temporada de establecimiento será en el periodo de lluvias, en el mes de julio.

Se establecerán las líneas de barrera de acuerdo al grado y orientación de la pendiente. Se realizará la limpieza del área seleccionada para establecer las barreras, se continuará con los trazos de curvas de nivel con el aparato A. Se realizará el desmonte y se colocarán estacas en las curvas de nivel para la plantación de moringa.

Mantenimiento: es importante evitar que las plantas de moringa compitan con otras especies, por lo que el control de malezas es necesario, este se puede realizar manualmente con machete o aplicando productos químicos utilizando una bomba de mochila y pantalla para no dañar las plantas de moringa.

La fertilización aumenta los rendimientos en el cultivo de temporal se puede fertilizar una sola vez por temporada, con una formula apropiada a las condiciones del suelo. La Técnica de Foidl *et al.* (2003), se puede realizar un sistema de podas cada 45 días con ocho cortes al año, se limitará la altura a 1.5 m.

2.4.2 Alimentación

Alimento humano

En cuanto al uso como alimento humano la *Moringa oleifera* posee cualidades nutricionales sobresalientes y está considerada como uno de los más completos vegetales perennes. Las hojas de moringa poseen 6.7 g de proteínas, equivalentes al contenido proteico de un huevo, y dos el de la leche, más de cuatro veces de vitamina C de las naranjas, dos veces la cantidad de vitamina A de una zanahoria y cuatro veces la cantidad de calcio en la leche así como cantidades significativas de hierro, potasio, fósforo y magnesio entre otros elementos. Estas propiedades pueden ayudar a solventar problemas de seguridad alimentaria y prevenir múltiples patologías (Booth y Wickens, 1988).

Sus vainas tiernas y comestibles, tienen un gusto muy similar al espárrago. Estas vainas se comen como vegetales nutritivos, ya sea cocidas o curtidas. Las hojas tiernas tienen sabor a berro, y se comen junto con las flores ya sea cocidas o crudas. Son muy ricas en proteína, minerales, beta-caroteno, tiamina, riboflavina y otras vitaminas, particularmente las vitaminas A y C. Además de su valor nutritivo las hojas son ricas en antioxidantes, entre los cuales destacan los isotiocianatos, los cuales parecen presentar propiedades anticancerígenas, hipotensoras, hipoglucemiantes y antibióticas (Olson y Fahey, 2011).

Las semillas inmaduras, que saben a cacahuates, también se consumen, ya sea crudas o cocidas. Las raíces tienen el sabor picante del rábano rústico (*Armoracia rusticana* Gaertn.), se usan como condimento o aderezo después de peladas, secadas y mezcladas con vinagre. Las semillas contienen entre 19 y 47 por ciento de aceite. Este aceite es similar al aceite de oliva y es rico en ácidos palmítico, esteárico, bohémico y oleico. Este aceite es muy apreciado en perfumería por su capacidad de absorber y retener olores, y por relojeros como lubricante. La costra del aceite se usa como abono (Parrota, 1993).

Las semillas de *Moringa oleifera* puede ser una alternativa como una fuente de proteína de alta calidad, aceite y compuestos antioxidantes y una manera de tratar el agua en las zonas rurales donde los recursos hídricos apropiados no están disponibles. Los análisis de la composición centesimal de estas semillas han mostrado altos niveles de lípidos y proteínas con variaciones menores a 4.35. Estas variaciones pueden ser explicadas por las diferentes condiciones climáticas, la época del año y los diferentes tipos de suelo a partir del cual las semillas eran colectadas (Ferreira *et al.*, 2008).

Las semillas secas se pueden moler a un polvo y se utilizan para salsas para aderezo. Las raíces de las plantas jóvenes también se pueden secar y tierra para su uso como una base de condimento caliente con un sabor similar a la de rábano picante. Por ello, el árbol Moringa se ha dado el nombre de "Ben". Una salsa sabrosa caliente de las raíces también se puede preparar por la cocción en vinagre. Las flores se pueden comer después de ser ligeramente blanqueadas o crudas como una deliciosa adición a las ensaladas. La resina del tronco del árbol, también es útil para espesar salsas (Foild *et al.*, 2001)

Alimento animal

El árbol de Moringa es perenne y poco longevo, puede vivir hasta 20 años. Su valor nutricional y los elevados rendimientos de biomasa, la hacen un recurso importante en los sistemas de producción (Pérez *et al.*, 2010).

Foild *et al.* (2003), reportan el valor nutricional de hojas y tallos de moringa con un porcentaje de proteína de 21 y 15% respectivamente así como una digestibilidad de 79 y 57%, por lo que es un buen alimento para el ganado

Una limitación común en la producción ganadera de los pastos nativos es el bajo contenido de proteína cruda, por lo que se han desarrollado sistemas en donde se establecen especies arbóreas forrajeras como bancos de proteína (Solorio y Solorio, 2002). Debido a sus considerables niveles proteicos, naturaleza multipropósito, amplio margen de adaptación y capacidad de producción, la

biomasa de los árboles y arbustos puede contribuir a mejorar de alimentos en la época de sequía y estimular la aplicación de técnicas de producción animal con el medio ambiente y los recursos naturales (García *et al.*, 2009).

Por otra parte, al exponer los resultados de un proyecto sobre el cultivo intensivo de *M. oleífera*, se planteó que es una alternativa para la producción de forraje de alto contenido proteico para la alimentación de ovinos en la zona centro de Sinaloa. Se determinó que bajo las condiciones climáticas de la zona y con semilla obtenida de la misma es perfectamente asimilable en ganado ovino: 75% de digestibilidad aparente de materia seca, y 65% de digestibilidad aparente de proteína (Pérez, 2010).

2.4.3 Industria química

La utilidad de las diferentes estructuras de la Moringa es cada vez más documentada y estudiada. Los análisis físico-químicos demuestran con argumentos científicos la veracidad de los beneficios y los procesos necesarios para asegurar la producción de ellos.

Tratamiento de agua

Un uso principal de la *Moringa oleífera* es la purificación de aguas. La semilla contiene de un 30 a un 42 % de aceite, y, una vez extraído, el producto sobrante posee un elevado nivel de proteínas. Algunas de ellas (aproximadamente el 1 %) son polielectrolitos catiónicos activos, con pesos moleculares entre 7 y 17 K Dalton. Estos polielectrolitos catiónicos neutralizan los coloides presentes en el agua sucia, como turbidez y sólidos en suspensión, puesto que la mayoría tiene carga eléctrica negativa. Luego la proteína puede ser usada como un polipéptido natural no tóxico que sedimenta partículas minerales y orgánicas en el agua de bebida.

Actúa como un coagulante primario que, a diferencia de los coagulantes industriales, como la alúmina, no es tóxico y puede estar al alcance (económico, social y de desarrollo) de todos (Sánchez, 2004).

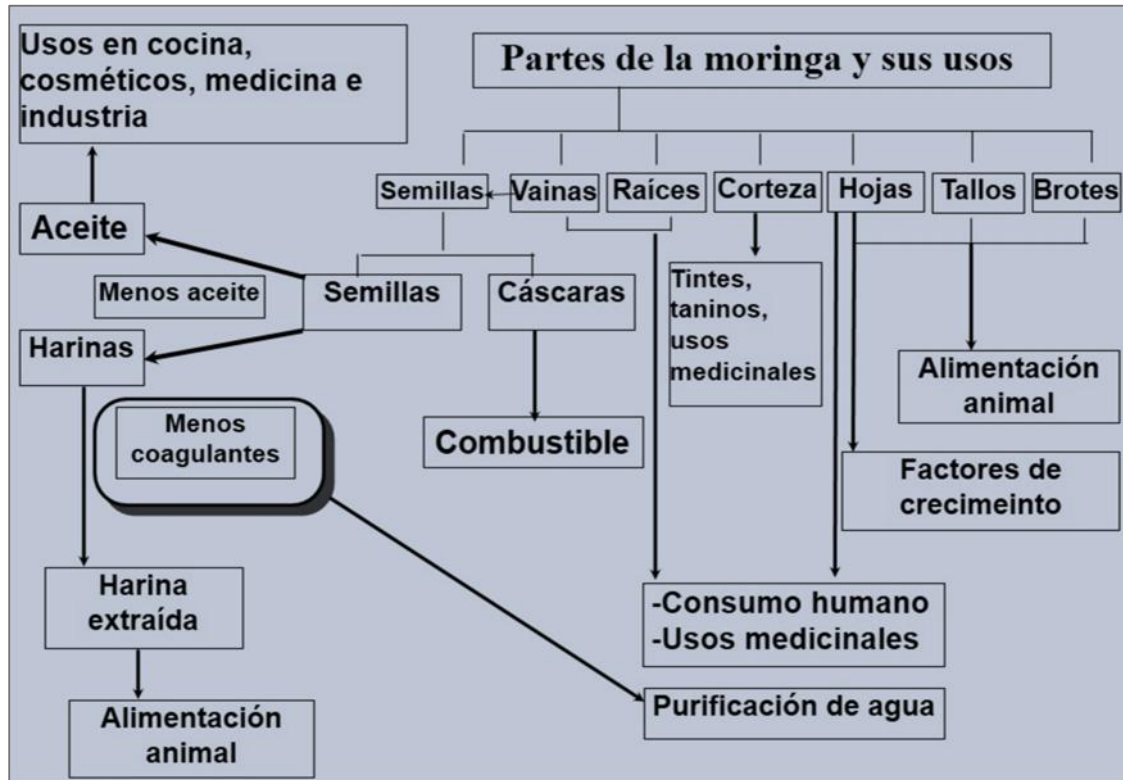


Figura 2. Uso potencial de diferentes partes de la planta de moringa en la industria y producción de alimentos (Foidl et al., 2001).

Potenciadores del crecimiento de planta

El extracto obtenido de las hojas de Moringa en etanol al 80% contiene sustancias que refuerzan el crecimiento (por ejemplo, hormonas del tipo citoquinina). El extracto se puede utilizar en forma de una pulverización foliar para acelerar el crecimiento de las plantas jóvenes. El uso del spray de la hormona de crecimiento también hará que las plantas sean más firme y más resistente a las plagas y las enfermedades. Las plantas que se tratan con este spray de la hormona de crecimiento para producir más fruta y de mayor tamaño, por tanto tendrán un mayor rendimiento en la cosecha. El extracto se puede obtener ya sea a través de la prensa de extracción o mediante el uso de un ultra-turrax y filtrado 20 g de

hojas tiernas en un volumen total de 675 mL de 80% Etanol (Foild *et al.*, 2001; Culver *et al.*, 2012; Abdala, 2013).

Aceite comestible y biodiesel

Las semillas del Moringa contienen entre 19 y 47 por ciento de aceite. Este aceite es similar al aceite de oliva y es rico en ácidos palmítico, esteárico, behénico y oleico. Conocido comercialmente como “aceite de ben”, se usa para consumo humano, iluminación, y en cosméticos y jabones. Este aceite es muy apreciado en perfumería por su capacidad de absorber y retener olores, y por relojeros como lubricante. La costra del aceite se usa como abono (Parrota *et al.*, 1993).

Cuadro 7. Características físico-químicas y composición de ácidos grasos de Moringa Oleifera (Foild *et al.* 2001).

Propiedad	Valor	Propiedad (%)	Valor
Índice de saponificación	182.9	Esteárico	5.42
Índice de Yodo	66.4	Oleico (C18-1)	72.9
Densidad a 20 °C (g/ml)	0.89737	Linoleico	0.76
Índice de refracción 20 °C	1.4670	Esteárico	5.42
Punto de solidificación	6	Araquidico	3.39
Ácidos grasos libres (%)	2.98	Gadoleico	2.2
Láurico	Encontrar	Eicosadieroic	-
Mirístico (%)	0.08	Behénico	6.88
Pentadecanoico	Encontrar	Erúcico	0.14
Palmítico (%)	5.45	Lignocérico	0.92
Palmitoleico (%)	1.48	Nervónico	Nd
Margárico (%)	0.08	Cerótico	-
Margaroleico (%)	0.05	Otros ácidos grasos	0.10

El aceite de color amarillo intenso poco viscoso, tiene un perfil de ácido graso que indica un 68.9% de ácido oleico. Esto significa que el aceite de Moringa oleífera tiene el mismo nivel de calidad que el aceite de oliva, por lo que podría tener el mismo valor de mercado y debido a la calidad del aceite este puede ser

utilizado para consumo humano. Después de la extracción del aceite queda un subproducto del procesado de la semilla que forma una torta que puede utilizarse en purificación de aguas superficiales (Folkard y Sutherland, 1996). El aceite de semilla de Moringa contiene aproximadamente 13% de ácidos grasos saturados y 82% de ácidos grasos insaturados. Tiene un nivel particularmente alto de ácido oleico (70%).

En un estudio de Da Silva *et al.* (2010) se realizaron las evaluaciones de semillas provenientes de Brasil en donde sugieren su aplicación en la producción de biodisel. La productividad de la plantación fue de 45 toneladas de vainas por hectárea. El contenido de aceite se determinó mediante la extracción con n-hexano de acuerdo con el método oficial de la AOAC 963.15.

Cuadro 8. Composición físico-química de aceite de semillas de Moringa oleífera provenientes de Brasil (Da Silva et al. 2010).

Ácidos grasos	Concentración %
Palmítico (16:0)	7.0
Palmitoleico (16:1)	2.0
Esteárico (18:0)	4.0
Oleico (18.1)	78.0
Linoleico (18:2)	1.0
Linolínico (18:3)	-
Araquídico (20:0)	4.0
Behémico (22:0)	4.0

El contenido de ácidos grasos se determinó por cromatografía de gases (GC) usando el método 1e62 Ce oficial AOCS Ce y 2E26. Se encontró que las semillas de moringa contenían 39%, en peso, de aceite; de la composición de ácidos grasos, el 19% del aceite lo constituían ácidos grasos saturados y 81% ácidos grasos insaturados, que contienen predominantemente un doble enlace (78% de ácido oleico). El rendimiento de aceite fue de 39%, que se puede integrar a la comparación realizada por Anwar y Rashid, (2007), con los rendimientos de una

población silvestre de Moringa en Pakistan (34.80%), de una plantación en NWFP, Pakistán (40.39%), India (38.3%), Kenia (35.7%) y en Malawi con 53.3%.

El aceite bruto se transesterifica y con base en los resultados preliminares obtenidos en este estudio, con respecto a las propiedades del combustible de ésteres metílicos de *M. oleífera*, se sugiere que este material puede ser utilizado como combustible en motores diesel, principalmente en forma de mezcla con el diesel de petróleo.

Aceite para elaboración de cosméticos

Como productos naturales, los aceites de semillas se han utilizado comúnmente para aplicación tópica de la piel desde la antigüedad hasta el presente. En los últimos 100 años, se han convertido en sustitutos sintéticos disponibles y se han utilizado para sustituir los aceites de semillas naturales. Sin embargo ahora forma parte de una tendencia creciente sustituir estos sintéticos y revertir al uso de aceites naturales en la industria cosmética y farmacéutica. El aceite de Moringa cuenta con alta estabilidad oxidativa (Kleiman *et al.*, 2008)

En la industria cosmética y farmacéutica el aceite es utilizado como materia prima que funciona como vehículo de los principios activos y además como emoliente, aromatizante o saborizante (García *et al.*, 2013).

El aceite de semilla de *Moringa oleífera* ha sido usado en preparaciones y bálsamos para la piel desde la época de los egipcios.

Estudios realizados han demostrado que puede fabricarse jabón de muy buena calidad a partir de aceite de Moringa oleífera, con grandes propiedades antioxidantes muy potentes que se consideran un factor detrás de su extraordinaria estabilidad, y que a la vez posee una gran capacidad de absorber y retener incluso las fragancias más fugitivas (Folkard y Sutherland, 1996).

Fertilizantes orgánicos

Los residuos de la extracción del aceite de las semillas pueden utilizarse como acondicionador del suelo o como fertilizante y tienen potencial para ser utilizados como suplemento alimenticio avícola y ganadero. Las hojas verdes constituyen un mulch muy útil (Folkard y Sutherland, 1996).

2.5 Nutrición para el óptimo desarrollo de *Moringa oleífera*

Todos los seres vivos requerimos de insumos externos para realizar nuestras actividades metabólicas. Las plantas pueden producir su propio alimento, sin embargo necesitan de ciertos elementos como materia prima para poder producirlos. Mantener un manejo adecuado de nutrición en las plantas influye directamente en el crecimiento y el fortalecimiento de la planta para enfrentarse a enfermedades y a adversidades ambientales y por lo tanto en la productividad y rendimiento de los productos de consumo o negocio. Es por esto necesario conocer el estado nutricional de las plantaciones de *Moringa oleífera* lo que brinda información sobre las deficiencias o excesos de nutrientes y con esto buscar un balance a través de correlaciones entre los nutrientes con la finalidad de aumentar el número de semilla y cantidad de aceite. Finalmente un balance adecuado puede mejorar el manejo en los sistemas agroforestales o su implementación, conociendo a la vez los requerimientos de los otros componentes para obtener un sistema sano y con una producción eficiente y de calidad.

2.5.1 Requerimientos nutricionales

En un cultivo, los nutrientes absorbidos por la planta toman diferentes destinos: para sustentar el crecimiento vegetativo, en los nutrientes inmovilizados en los tejidos y los requeridos para la producción de frutos. Las fuentes de nutrientes para sustentar el requerimiento de las plantas se encuentran en el suelo, el retorno atmosférico de algunos de ellos y en fertilizantes en los casos en que los anteriores no los suministren (Munevar, 2001).

Los elementos esenciales juegan diferentes papeles en las funciones fisiológicas. El nitrógeno es uno de los macroelementos de mayor movilidad yendo de las hojas inferiores (más viejas) a las superiores (más jóvenes). Este elemento está en la composición química de la mayoría de los compuestos orgánicos en la planta, forma parte de compuestos orgánicos como los aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucleicos, nucleótidos, coenzimas, hexoaminas, decisivos en el crecimiento y multiplicación celular y fundamentalmente en la fotosíntesis (Taiz y Zeiger, 2006). Según Price (1985), para el rendimiento de 650 toneladas de materia fresca de moringa, en suelos arenosos, con 1300 mm anuales de precipitación y con irrigación en temporada seca, se requieren 280 kg de Nitrógeno.

Azufre es un elemento inmóvil que al igual que el nitrógeno forma parte de compuestos orgánicos entre ellos la cisteína, cistina, metionina y proteínas. Constituye el ácido lipoico, coenzima A, pirofosfato de tiamina, glutatión, biotina, adenosina-5-fosfosulfato y 3-fosfoadenosina. El azufre y el nitrógeno comparten un amplio rango de estados de oxidación-reducción, transforman las formas inorgánicas del suelo en formas reducidas de compuestos orgánicos (Taiz y Zeiger, 2006). Un buen aporte de azufre supone una utilización más eficiente del nitrógeno y por tanto un efecto positivo en el rendimiento. El contenido en aceite es afectado positivamente por el azufre, que está directamente implicado en la síntesis de ácidos grasos. Una deficiencia menor y temporal debe ser controlada, por medio de aplicaciones foliares sin ninguna pérdida de rendimiento. Sin embargo, deficiencias más prolongadas pueden resultar en pérdidas de rendimiento de más de un 75 %.

El fósforo es importante en el almacenamiento de energía, es componente de azúcares-fosfato, ácidos nucleicos, nucleótidos, coenzimas, fosfolípidos, coenzimas, etc. Es básico para el crecimiento y desarrollo de la planta pues al asociarse con otros compuestos orgánicos da origen a productos ricos en energía, como el ATP (ácido adenosín trifosfato) que permiten el proceso metabólico. Las enzimas que aceleran procesos, está en las cadenas de los

cromosomas y facilita la asimilación del nitrógeno y otros elementos. Una planta mejor nutrida de fósforo, está en condiciones de tener una actividad fisiológica más ordenada y estable (Taiz y Zeiger, 2006). En *Moringa oleífera* los requerimientos para el rendimiento de 650 toneladas por ha de materia fresca es de 380 kg/ha (Price, 1985). Según Foild *et al.* (2003), la extracción de fósforo para producir 130, 100, 80, 60, 40 y 20 t de biomasa/ha es de 338, 260, 208, 156, 104 y 52 kg/ha/año respectivamente.

El boro forma complejos con manitol, ácido polimanurónico y otros constituyentes de las paredes celulares. Está implicado en la elongación celular y en el metabolismo de los ácidos nucleicos. La insuficiencia de este nutriente trae como consecuencia el pobre desarrollo de las vainas después de la floración. Los requerimientos de boro según Price (1985), para la producción de 650 toneladas/ha de biomasa fresca de moringa es de 0.6 kg/ha.

Uno de los nutrientes que permanecen en forma iónica es el potasio, es un elemento de rápida movilidad y regulador de otros nutrientes por lo que su carencia se refleja en otros elementos. Tiene un papel importante en la regulación del potencial osmótico y como activador de enzimas importantes en la respiración y fotosíntesis (Taiz y Zeiger, 2006). La síntesis del aceite es ayudada por la activación del metabolismo enzimático. La extracción de fósforo para 130, 100, 80, 60, 40 y 20 t/ha de biomasa es de 338, 260, 208, 156, 104 kg/ha/año respectivamente (Foild *et al.* 2003).

El calcio es un elemento de poca movilidad, por lo que su concentración en hojas viejas es mayor que en los nuevos rebrotes. Es constituyente de la lámina media de las paredes celulares, es necesario como cofactor de varias enzimas implicadas en la hidrólisis de ATP y fosfolípidos. Es importante para el desarrollo de un fuerte sistema radicular, para el equilibrio fisiológico de otros nutrientes y para las estructuras de las paredes celulares (Taiz y Zeiger, 2006). Según Price (1985) son necesarios 1800 kg/ha para una producción de 650 t/ha de biomasa fresca de moringa.

Otro de los nutrientes que permanecen en forma iónica es el magnesio, es necesario para muchas enzimas implicadas en la hidrólisis de ATP y fosfolípidos. Para producir 130, 100, 80, 60, 40 y 20 t/ha de biomasa seca de moringa se requieren 429, 330, 264, 198, 132 y 66 kg/ha/ha de Mg respectivamente (Foild *et al.* 2003). Si después de un invierno severo se da una gran pérdida de follaje, una buena aportación de magnesio es importante para el desarrollo de hojas nuevas. La asimilación por la planta, especialmente por las vainas tiene un efecto positivo sobre la síntesis de aceite y del rendimiento en general.

El manganeso es necesario para la actividad de algunas deshidrogenasas, descarboxilasas, quinasas, oxidasas y peroxidasas, algunas implicadas en el ciclo de ácidos tricarboxílicos. Está implicado en la generación de oxígeno en la fotosíntesis. Deficiencias en el suministro de manganeso ocurren predominantemente en suelos con un alto contenido en material orgánica y/o con altos valores de pH o después de aplicaciones de cal. El manganeso, como el magnesio, afecta a la síntesis de clorofila y fotosíntesis. Esto asegura que una alta asimilación afecta al rendimiento positivamente. Para la productividad de 130, 100, 80, 60, 40 y 20 t/ha de biomasa se extraen 4.6, 3.5, 2.8, 2.1, 1.4, 0.7 kg/ha/año de Mn respectivamente (Foild *et al.* 2003).

El hierro tiene un papel importante como componente de enzimas implicadas en la transferencia de electrones de la misma forma el zinc es necesario para activar enzimas implicadas en la formación de complejos y síntesis de clorofila. Price (1985), reporta el requerimiento de zinc para la producción de 650 t/ha de 0.3 kg/ha. La extracción de Fe para la producción de 130, 100, 80, 60, 40 y 20 t/ha de biomasa de moringa es de 45.7, 35.2, 28.1, 21.1, 14.0 y 7.0 kg/ha/ año respectivamente (Foild *et al.* 2003).

Según Kah *et al.* (1994), para maximizar los beneficios de la producción agrícola, todas las entradas se deben utilizar en la mayor eficiencia.

Esto es particularmente importante en el manejo de fertilizantes de la palma de aceite. El potasio es uno de los cuatro nutrientes principales requeridos así como el N, P y Mg.

Fuera de los nutrientes incluidos arriba, debe considerarse que según las condiciones específicas, el cultivo de la palma de aceite puede requerir de aportes externos de otros elementos esenciales como azufre (S), boro (B) o alguno de los otros micronutrientes (Munevar, 2001).

En cultivos de *Jatropha curcas* para producción de aceite, la aplicación óptima de fertilizantes inorgánicos N y P varían de acuerdo a la edad de la plantación, en sitios con suelos degradados la respuesta es mejor con fertilizantes orgánicos.

Sobre los datos de nutrientes en la fruta se estimó que para la cosecha de 1 t de semillas la absorción de nutrientes es de 14.3-34.3 kg N, de 0.7-7.0 kg de P y 14.3-31.6 kg de K, por lo que la fertilización orgánica o artificial tiene que compensar al menos esta demanda (Achten *et al.* 2008).

2.5.2 Potencial de rendimiento de aceite de *Moringa oleífera*

La semillas contienen entre un 30 y 42% (Foidl *et al.* 2003). Según Martínez *et al.* (2010), se llega a tener un rendimiento del 47% con una producción de biodiesel de 1400 L/ha. Por otro lado se reportan que este cultivo tiene un rendimiento aproximado de semillas de 2500 kilogramos/hectárea, un rendimiento de 1478 litros de aceite/hectárea y un factor de conversión a biodiesel del 0.96, que permite una producción aproximada de 1419 litros de biodiesel/hectárea.

García *et al.* (2013), realizaron una comparación con el rendimiento de semilla y aceite entre *Jatropha curcas* y *Moringa oleífera* (Cuadro 9), estas especies están llamando la atención de la comunidad científica por ser una nueva fuente de alta calidad y contenido de aceite.

Cuadro 9. Rendimiento de la semilla de *Jatropha Curcas* comparada con la semilla de *Moringa oleífera* en El Salvador

Árbol	Densidad árboles/ha	Productividad kg semilla/árbol	Producción de aceite. kg aceite/ha/año
<i>Jatropha curcas</i>	1666	3.6	2099.2
<i>Moringa oleífera</i>	7150	2.24	6293.8

Ayerza (2010), evaluó el potencial de rendimiento de una variedad PKM-1 a la edad de 1 y 2 años de la plantación en cuatro ecosistemas de Sudamérica: el Chaco árido, bosque tropical Yungas, bosque tropical de tierras bajas y el subhúmedo. Se encontraron diferencias significativas con mayor producción de semilla en los árboles más viejos y mayor contenido de aceite en las semillas de los árboles más jóvenes (Cuadro 10).

Cuadro 10. Rendimiento de semilla y contenido de aceite de *Moringa oleífera* en dos edades y cuatro ecosistemas (Ayerza, 2012).

Edad años	Ecosistema	Densidad	Rendimiento de semillas kg/ha	Contenido de aceite %
1	Chaco árido	1666	243.49	37.46
1	La Yunga	2000	749.28	37.3
1	Chaco sub- húmedo	1666	428.69	35.9
1	Bosque Tropical	1666	100	32.7
2	Chaco árido	1666	962.5	36.3
2	La Yunga	2000	552	35
2	Chaco sub- húmedo	1666	604	35

En Argentina se han llevado a cabo estudios sobre dos genotipos de *Moringa oleífera* el PKM-1 y un cultivar africano, determinando los rendimientos de vainas, semillas, contenido de aceite y caracterización del aceite (Cuadro 11).

Cuadro 11. Rendimientos y componentes de rendimientos comparativos de un genotipo entre dos años y entre dos genotipos de moringa (Ayerza, 2010).

Árbol	Vainas	Semillas			Grano		Aceite	
	vainas/árbol	Por árbol	Por vaina	Peso de 200 semillas	Peso de 50 granos	Contenido de aceite	Por árbol	Por ha
	(Cantidad)	(g)	(Cantidad)	(g)	(g)	(%)	(g)	(kg)
PKM1-2003	137.6	575.4	15.3	59	36.7	37.5	161.2	269
PKM1-2004	154.8	594.4	16.4	50.4	36.1	36.3	155.5	259
d.e. ^z	88.3	317.6	3.58	8.4	1.51	1.51	92.7	154
PKM1	119.2	481	16.2	53.4	35.5	37.3	127.7	296
África	96.5	296	16.1	47.9	34.3	36.1	72	176
d.e. ^z	56.3	220.6	7.24	6.71	2.05	1.96	57.5	133

^z desviación estándar (d.e.)

2.6 Criterios y procedimientos para el diagnóstico nutrimental y recomendación de fertilizantes

A través del tiempo se han utilizado diferentes procedimientos para establecer las recomendaciones de fertilización. I) Métodos basados en niveles críticos de nutrientes en el suelo y en las hojas; II) Métodos basados en la relación óptima entre nutrientes; III) Métodos basados en funciones de respuesta en rendimiento; IV) Método del balance de nutrientes. En la práctica, las recomendaciones de fertilización pueden basarse en una combinación de los métodos antes mencionados (Munevar, 2001).

Cultivos diferentes necesitan cantidades específicas de nutrientes, la cantidad necesaria depende en gran parte del rendimiento obtenido o esperado (óptimo).

El uso del análisis foliar como complemento del análisis de suelos en el cultivo, puede llegar a proveer mayores elementos de juicio para la utilización oportuna

y conveniente de los fertilizantes lo que depende, en gran parte, de la correcta interpretación de los resultados del análisis foliar (Arboleda *et al.*, 1998).

Análisis foliar

El análisis foliar se considera actualmente como una referencia indispensable para determinar tanto las necesidades de la fertilización de las plantaciones como los estados carenciales de microelementos. Esto se debe a que los análisis foliares dan una indicación precisa de la absorción de los diferentes elementos por la planta, ya que las hojas son muy sensibles a los cambios de composición del medio nutritivo. La correcta utilización de esta práctica requiere efectuar adecuadamente la toma de muestras de hojas, de modo que sea representativa del estado nutricional de la plantación, e interpretar correctamente los análisis. El contenido en nutrientes de las hojas depende de diversos factores tales como la edad, tipo y posición de la hoja que se muestrea, la disponibilidad de nutrientes del suelo, la producción, el estado fitosanitario, etc.

Sin embargo, hay que destacar que las concentraciones de elementos en las hojas que inducen un máximo desarrollo vegetativo no son los mismos que los que producen el mayor rendimiento en cosecha u optimizan la calidad del fruto (Legaz *et al.*, 1995).

Con el análisis de planta se determina si un nutriente está por debajo de la concentración mínima (valor crítico) que es diferente para cada nutriente, la aplicación de ese nutriente en fertilizantes aumentará el rendimiento.

Antes de comenzar el muestreo foliar en cualquier plantación es necesario definir qué es lo que se va a muestrear. Esto implica determinar qué parámetros se desea evaluar de la planta y cuál es el problema. Esto puede comprender una planta individual, una parte de la plantación en un campo, un muestreo específico de determinadas plantas en una región o área, la cual puede conformar la población con un determinante como puede ser la presencia o no de síntomas característicos.

Selección de los árboles para tomar una muestra

Una vez dividida la plantación en subparcelas homogéneas, se procederá a la selección de los árboles en los que se va a efectuar el muestreo de las hojas.

La relación evidentemente disminuye al aumentar el tamaño de la subparcela. En subparcelas muy pequeñas, con menos de 150 árboles, se debe muestrear un

árbol de cada tres. En parcelas mayores, con 150-250 árboles, se muestreará uno de cada cinco árboles, en las de 250-450 árboles uno de cada nueve y así sucesivamente hasta parcelas superiores a los 1500 árboles en las que puede muestrearse un árbol de cada cincuenta (Legaz *et al.* 1995).

Selección de hojas para toma de muestra

Generalmente está aceptado que deben muestrearse las hojas de la brotación de primavera de una edad determinada. Sin embargo, existen diferentes criterios sobre el tipo de brote que debe elegirse para el muestreo, considerando que pueden tomarse hojas procedentes de brotes vegetativos (sin frutos) o bien de brotes que presenten un fruto en posición terminal. Legaz *et al.* (1995), se inclinan por el criterio de tomar hojas de brotes vegetativos, porque consideran que ofrece más ventajas que el otro método. Dichas ventajas pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Normalmente los brotes vegetativos son más abundante en la planta.
- Estos están menos sometidos a la depleción de nutrientes ocasionada por el fruto terminal próximo.
- En árboles muy jóvenes o en aquellos con escasa cosecha apenas existen brotes con fruto.

Los brotes vegetativos son los que soportarán la floración y fructificación del año siguiente y por tanto, la determinación del contenido de nutrientes de sus hojas proporcionan mejor estimación del nivel de reservas de la planta.

Por último las muestras son llevadas un laboratorio para determinar el contenido de nutrientes esenciales en el crecimiento y rendimiento de las plantaciones.

Diagnostico foliar

Un primer paso en la interpretación de los análisis foliares es cotejar los resultados obtenidos con una tabla de niveles críticos u óptimos que se considere adecuada para las condiciones del cultivo en consideración.

Un segundo paso a seguir es la realización de algunos cálculos básicos a partir de los resultados obtenidos en el laboratorio. Por una parte, conviene calcular algunas relaciones de concentración entre los elementos, como ayuda para la identificación de posibles desbalances (Munevar, 2001). Para el diagnóstico nutricional es necesaria la determinación en laboratorio de la concentración de nutrientes en tejidos vegetales (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B).

Índice de balance Kenworthy

El índice de balance Kenworthy es una técnica para determinar desbalances nutrimentales a partir de la concentración de nutrientes de una muestra sobre la base de un valor estándar y el coeficiente de variación. Kenworthy (1961), definió el valor estándar como el valor igual a la media de la concentración nutrimental de hojas muestreadas en un estado particular de árboles con un desarrollo hortícola deseable. Para generar el estándar se selecciona el 10% de la población que represente una característica deseable (alto rendimiento) y un coeficiente de variación menor al 34%.

La obtención del balance resulta de las siguientes ecuaciones, donde la concentración de nutrientes X=muestra; CV=coeficiente de variación; S=media poblacional; P= porcentaje del valor estándar; I= influencia de la variabilidad y B=índice de balance.

- Si $X < S$:

$$P = (X/S) 100$$

$$I = (100 - P) (CV/100)$$

$$B = P + I$$

- Si $X > S$:

$$P = (X/S) 100$$

$$I = (100 - P) (CV/100)$$

$$B = P - I$$

Los rangos de concentración “bajos” se definen por los índices de balance comprendidos entre 50-82, los rangos de concentración “normales” por los índices de balance entre 83-116 y “alto” por los índices de 117-150 (Kenworthy, 1961). Con este método se realiza el diagnóstico mediante el orden de requerimiento nutrimental (ORG) y se evalúa el balance entre ellos, pero presenta algunas desventajas como son: la posición y tipo de muestra foliar y la etapa de crecimiento del cultivo ya que sólo se puede diagnosticar para el estado de crecimiento en el que se obtiene el estándar (Summer y Boswell, 1981). Estos índices permiten conocer el estado nutrimental de las plantaciones evaluadas en el futuro para corregir los problemas.

Análisis de suelos

En general, se define como análisis de suelos a cualquier medición, química o física, hecha en el suelo. En forma particular, el análisis de suelos se refiere a cualquier análisis químico rápido para evaluar el nivel de nutrientes disponibles para la planta, la salinidad o acidez y los elementos tóxicos presentes en el suelo. Bajo el análisis de suelo también se incluyen las interpretaciones y evaluaciones de los resultados y las recomendaciones de fertilización y enmiendas que se basan en estos resultados

Según Sumner (2000), los nutrientes en el suelo se hallan en distintas formas que varían en nivel de disponibilidad, muchos nutrientes se encuentran en la solución del suelo (inmediatamente disponibles pero en pequeñas cantidades), en forma intercambiable (rápidamente disponible en grandes cantidades), o dentro de la estructura cristalina de las arcillas (lenta a muy lentamente disponible en grandes cantidades), por lo que para que un análisis de suelo provea información significativa para predecir requerimientos de fertilización de un cultivo, debe ser capaz de evaluar las cantidades del nutriente en aquellas categorías que estarán disponibles para el cultivo a diferentes tasas a lo largo de la estación de crecimiento

Para la toma de muestras del suelo, la plantación deberá dividirse en parcelas con características edáficas homogéneas, en lo que se refiere a textura, fertilidad, color, profundidad de suelo, cte. También deberán diferenciarse aquellas parcelas que, aun teniendo un suelo semejante, estén sometidas a diferentes prácticas de cultivo, especialmente en lo que se refiere al riego (localizado o inundación), manejo del suelo (laboreo o no cultivo) y fertilización. En las parcelas que presentan características homogéneas, se tomarán, aproximadamente, de 15 a 20 submuestras de la capa superficial comprendida entre 0 y 30 cm de profundidad. Estas deberán localizarse en puntos, más o menos equidistantes, distribuidos por toda la superficie de la parcela (Legaz *et al.*, 1995).

El impacto del uso del suelo en la producción de la plantación sobre parámetros tan importantes como el nivel de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, los niveles de sales, la modificación de la acidez y la inducción de gradientes de concentración de nutrientes en el perfil sólo se puede determinar por medio de análisis de suelos (Munevar, 2001).

Diagnóstico de fertilidad de suelo

Las determinaciones analíticas para la evaluación de la fertilidad de acuerdo a la NOM-021 (SEMARNAT, 2000) son: pH; densidad aparente; contenido de materia orgánica; nitrógeno inorgánico; determinación de la textura del suelo; fósforo

disponible; capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes intercambiables (Ca, Mg, Na y K); azufre disponible, contenido de micronutrientes disponibles (Fe, Mn, Zn y Cu); determinación del contenido de boro. Estos elementos nos proporcionan información para deducir cómo se comportan los nutrientes bajo las circunstancias evaluadas, nos dice cuáles nutrientes están deficientes y cuáles pueden ser disponibles y qué factores están influyendo en la presencia, ausencia o poca disponibilidad para las plantas de estos, como las mismas fuerzas iónicas que surgen entre los diferentes nutrientes o la influencia del pH sobre ellos.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar el estado nutrimental de plantaciones de Moringa oleífera de diferente edad mediante análisis foliar y de suelo y generar recomendaciones de fertilización para optimizar la producción de semilla y aceite.

3.2 Objetivos específicos

- Evaluar el estado nutricional de plantaciones de moringa de diferente edad mediante análisis foliares y la estimación de los índices de balance Kenworthy.
- Evaluar el estado nutricional de las plantaciones de moringa mediante análisis de suelo y estimar los requerimientos de fertilización que incidan en la producción de aceite.
- Relacionar las concentraciones nutrimentales en la hoja por efecto del tratamiento de fertilización con la producción de semilla y contenido de aceite, para definir los nutrientes que son determinantes en la moringa para la síntesis de aceite, en función de la edad de la plantación.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Zona de estudio

La investigación se realizó en una plantación de *Moringa oleifera* de la “Huerta Calvariotitla”, localizada en el municipio de San Gabriel Chilac, Puebla entre los paralelos 18°19'1.81" N y 97°20'40.13" O a una altitud de 1219 m. Se encuentra en la zona ecológica del trópico seco, el clima es Seco muy cálido y cálido BSo(h')w según CONABIO (1998). En la Estación 00021073 Tehuacán Puebla del Servicio Meteorológico Nacional localizada en los paralelos Latitud: 18°27'50" N y Longitud: 097°23'35" W a 2, 416.0 m se reporta para el periodo 1951-2010, una temperatura media anual de 18 °, máxima anual de 26.1 ° y la mínima anual de 10.0 °C y una precipitación anual de 455.9 mm.

El suelo de acuerdo al INEGI (2003) es Calcisol con suelo secundario Vertisol. Son suelos que ocupan 10.4 % de la superficie nacional y son vulnerables a erosión, comunes de zonas áridas, semiáridas y subtropicales. Se consideran suelos no aptos para la agricultura o ganadería. Están frecuentemente asociados a materiales parentales ricos en bases, depósitos aluviales, coluviales y eólicos, con bajo contenido de Materia orgánica (M.O.). En estos suelos la vegetación más representativa es el matorral xerófilo con árboles, arbustos y hierbas anuales. Pueden tener alto potencial agrícola siempre y cuando se cuente con riego, fertilización principalmente con N, P, Fe, Zn y un buen drenaje

La plantación tiene como finalidad la extracción de aceite de semilla para la elaboración de cosméticos. El área de estudio se delimitó en dos lotes, uno de ellos cuenta con plantas de 6 años de edad a la que se asignó (L1) y otro de 2 años (L2).

El Lote 1 (L1) localizado en la zona suroeste de la huerta, tiene una superficie de 1316 m² con 170 árboles y se cuenta con 56 cepas libres en las que se pueden trasplantar nuevos ejemplares. En el área se clasificaron dos tipos de árboles de acuerdo al tamaño. Los árboles chicos y grandes de 1.80 m y mayores a esta

medida respectivamente. Los árboles chicos son árboles que fueron trasplantados en diferentes tiempos y por lo tanto tienen una edad distinta.

El Lote 2 (L2) se encuentra en la zona noreste y tiene una superficie de 481.4 m² con 49 árboles y 12 cepas libres.

Los árboles de las dos parcelas no han recibido manejo de podas, fertilización o riego debido a la baja calidad del agua. Las árboles están sembrados en cepas de aproximadamente 1.5 m de diámetro las cuales se rellenaron con limo proveniente de un arroyo que se forma en temporada de lluvia.



Figura 3. Localización de las parcelas L1 y L2 respecto a la huerta (Imagen Google Earth, 2013).

4.2 Síntesis de la metodología

Para el diagnóstico nutricional inicial de la plantación de moringa, en cada lote se tomó una primera muestra vegetal de hojas, flores y semilla; también se evaluó el rendimiento de semilla por lote y se determinó el contenido de aceite.

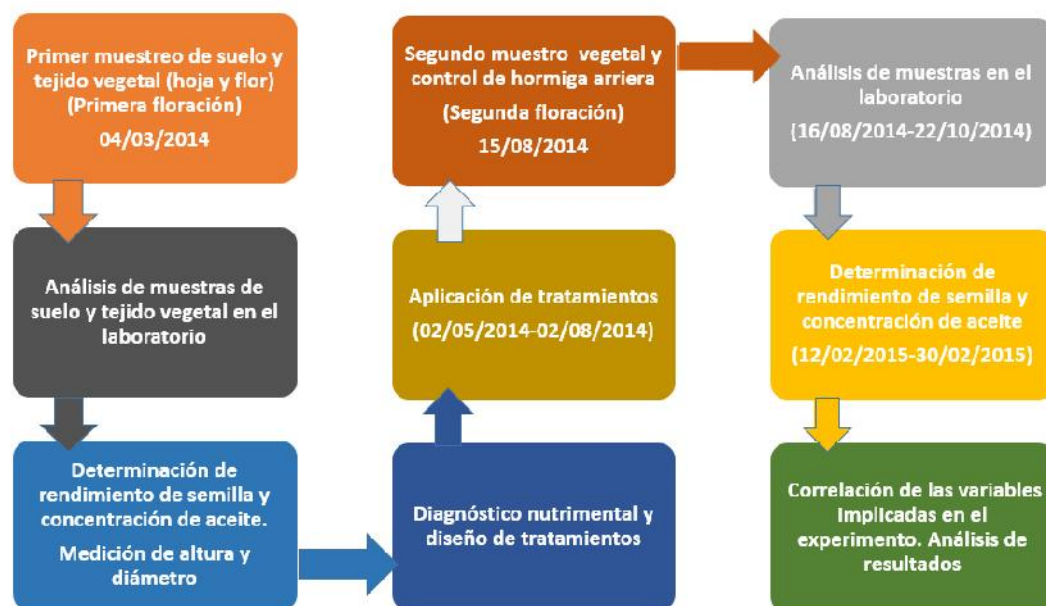


Figura 4. Diagrama de metodología para la evaluación nutrimental y la optimización de la producción de semilla y aceite.

En cada lote también se colectó una muestra compuesta de suelo. Los resultados se analizaron en el Laboratorio de Química de Suelos del Departamento de Suelos en la Universidad Autónoma Chapingo. Con los resultados del análisis de suelo se diseñaron los tratamientos de fertilización del cultivo por lote, asimismo, con el análisis foliar y valores de análisis foliares de moringa encontrados en la literatura se generaron los índices de balance Kenworthy, que permitieron ajustar los tratamientos de fertilización. Los tratamientos de fertilización se fraccionaron en dos aplicaciones con dos riegos de auxilio en cada aplicación. Una vez aplicados los tratamientos, en la siguiente etapa de floración se tomaron nuevamente muestras foliares para obtener el contenido de nutrientes en la planta y los índices de balance Kenworthy. Se cuantificó el rendimiento de semilla y su contenido de aceite. Con la información generada se comparó el estatus nutricional del cultivo y de la fertilidad suelo al inicio y final del experimento para cotejar la corrección de deficiencias o desbalances en el cultivo con los tratamientos de fertilización. También se realizaron correlaciones entre las concentraciones nutrimentales foliares y el rendimiento de vaina, semilla y

contenido de aceite, e índices de balance Kenworthy vs rendimiento de semilla y contenido de aceite (Figura 4).

4.3 Muestreo, diagnóstico nutrimental y rendimiento inicial de la plantación de *Moringa oleifera*

El primer muestreo de suelos y foliar se realizó el 4 de marzo del 2014, en la temporada de sequía. Las plantas se encontraban en proceso de floración, por lo que se tomaron muestras vegetales de hojas y flores; en fructificación, se cuantificó el rendimiento de semilla por lote así como el contenido de aceite.

4.3.1 Muestreo y análisis de tejidos vegetales

Se tomaron muestras de hojas sanas, cuatro hojas por árbol ubicadas en la tercera posición contando del ápice de la rama y orientadas en cada uno de los ejes cardinales de 25 árboles para cada lote. Las muestras florales se colectaron en los cuatro puntos cardinales de la planta y sin peciolo. Se obtuvo una muestra compuesta foliar y una florar en el Lote 1 y las mismas muestras compuestas para el Lote 2. Se les asignó una identificación para su posterior análisis y reporte de resultados (Cuadro 12).

Cuadro 12. Identificación de las muestras en el primer muestreo para el análisis químico y reporte de resultados

Lote	Edad Años	Estructura	Submuestras Cantidad
1	6	Flor	100
1	6	Hoja	100
2	2	Flor	100
2	2	Hoja	100
2	2	Suelo	20
1	6	Suelo	20

En el laboratorio de Química de Suelos en la Universidad Autónoma Chapingo, las muestras vegetales se lavaron en un tren de: agua corriente, sol de HCl 0.1

N, agua destilada y agua desionizada (Figura 5). Se secaron en la estufa a una temperatura de 70°C durante 72 horas y se molieron con malla 40 en un molino de acero inoxidable.

La digestión de la muestra se realizó con una mezcla de ácido nítrico/ácido perclórico (relación 4:2) concentrados.

El N se determinó por el método semimicro Kjeldahl, el Ca, Mg y micronutrientes por espectrofotometría de absorción atómica, K por flamometría y B por Azometina-H y determinación en espectrofotómetro de luz visible.

Los resultados del análisis de laboratorio del contenido de nutrientes en hojas y flores se indican en el Cuadro 13.



Figura 5. Preparación de muestras vegetales (hoja y flor) para el análisis de contenido de nutrientes.

Cuadro 13. Contenido de nutrientes en hojas y flores en dos muestras compuestas de Moringa oleífera pertenecientes a los dos lotes de estudio.

----- Contenido de nutrientes en flor y hoja -----				
	----- Lote 1 ^z -----		----- Lote 2 ^y -----	
Estructura	Flor	Hoja	Flor	Hoja
N (%)	4.5	4.9	3.22	4.00
P (%)	0.15	0.21	0.15	0.15
K (%)	2.33	1.14	2.25	1.51
Ca (%)	0.39	2.38	0.31	2.59
Mg(%)	0.51	2.28	0.36	1.70
Fe (mg kg ⁻¹)	60.90	86.15	103.90	70.40
Mn (mg kg ⁻¹)	14.10	138.55	11.20	90.80
Zn (mg kg ⁻¹)	22.90	30.00	38.35	41.55
Cu (mg kg ⁻¹)	5.10	7.50	6.95	10.25
B (mg kg ⁻¹)	165.68	640.47	0.00	164.36
S (%)	0.301	0.394	0.348	0.440

^z plantación con árboles de 6 años de edad

^y plantación con árboles de 2 años de edad

4.3.2 Muestreo y análisis de suelo

En los lotes se tomaron 20 submuestras de suelo en la capa superficial 0 a 30 cm de profundidad con una barrena de acero inoxidable. Se tomaron en puntos equidistantes, en zigzag distribuidos por toda la superficie de las parcelas (Figura 6).

Las submuestras en Lote 1 se mezclaron para formar una muestra compuesta y el mismo procedimiento hizo para el Lote 2. Se obtuvieron dos muestras compuestas correspondientes al Lote 1 con plantas de 6 años y al Lote 2 para plantas de 2 años. Se llevaron al laboratorio de Química de Suelos en la Universidad Autónoma Chapingo en donde se molieron con un martillo de madera hasta pasar por un tamiz de malla de 2mm.

Se midieron los siguientes atributos de acuerdo a la NOM-021 (SEMARNAT 2000) para fertilidad del suelo: pH en agua (relación 1:2); materia orgánica (Walkley y Black); nitrógeno inorgánico ($N - NO_3^- + N - NO_4^+$, extraído con KCl 2N); fósforo disponible (Olsen) y determinado en espectrofotómetro de luz; capacidad de intercambio catiónico y cationes intercambiables (con acetato de amonio 1N pH=7; Fe, Mn, Cu, Zn (extraídos con DTPA); B (extraído con $CaCl_2$), densidad aparente (probeta) y conductividad eléctrica (relación 1:5).



Figura 6. Localización de puntos para la obtención de submuestras de suelo en las parcelas L1 y L2.

Los resultados de laboratorio se interpretaron los con base en los estándares reportados en la NOM-021 (2000) para suelos de México. Son suelos medianamente alcalinos, presentan diferencias en pH, materia orgánica (M.O.), nitrógeno inorgánico y fósforo entre el Lote 1 (6años) y 2 (dos años) (Cuadro 14.).

Cuadro 14. Determinación de contenido mineral del suelo y clasificación según NOM-021 (2000)

Atributos	6 años	Clasificación	2 años	Clasificación
pH	7.9	Medianamente alcalino	8.3	Medianamente alcalino
M.O. (%)	1.88	Medio	1.21	Bajo
N inorg.)ppm	56	Alto	21	Medio
P olsen (ppm)	21.9	Alto	7.53	Medio
Ca (me/100 g)	20.902	Alto	17.927	Alto
Mg (me/100 g)	4.100	Alto	4.351	Ato
K (me/100g)	1.276	Alto	0.751	Alto
Fe (ppm	0.2675	Deficiente	0.22	Deficiente
Cu (ppm	0.5175	Adecuado	0.325	Adecuado
Zn (ppm	0.195	Deficiente	0.295	Deficiente
Mn (ppm)	3.89	Adecuado	1.425	Adecuado
B (ppm)	4	Muy alto	4	Muy alto

4.3.3 Diagnóstico nutrimental inicial de la plantación de Moringa

La interpretación de los análisis foliares se realizó con la técnica Kenworthy (1961). Con los resultados del análisis foliar, valor estándar y el coeficiente de variación se estimaron los índices de balance para el diagnóstico nutrimental inicial de la plantación de *Moringa oleífera* en San Gabriel Chilac, Puebla. El valor estándar y el coeficiente de variación se calcularon a partir de datos de contenido nutrimental de hojas de moringa encontrados en la literatura para diferentes poblaciones con rendimiento óptimo de biomasa (Foild *et al.*, 2001; Amaglo *et al.*, 2010; Del Toro *et al.*, 2011; Ghazanfar *et al.*, 2011; Hernández y Quiñones, 2012; Zayed, 2012; García *et al.*, 2013) (Cuadro 15).

Cuadro 15. Estándares foliares y coeficientes de variación para el cultivo de Moringa oleífera.

Cultivo		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
		----- % -----					----- mg kg ⁻¹ -----				
Moringa oleífera	S ^z	2.86	0.23	2.17	2.64	1.99	175	113	35.8	11	164
	CV ^y	18.9	22.4	23.2	30.2	31.6	26.5	30.1	25.7	30.2	27.5

S^z =Valor del estándar

CV^y=Coeficiente de variación

Cuadro 16. Balance nutrimental inicial de Moringa oleifera mediante índices Kenworthy.

		Concentración nutrimental									
Muestra		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
		----- % -----					----- mg kg ⁻¹ -----				
L-1-Hoja 6 años	CN	4.9	0.21	1.14	2.38	2.28	86.15	138.55	30	7.5	640.5
	IB	157.8	93.3	63.5	93.1	110.0	62.7	115.8	88.0	77.8	310.6
	C	Ex	N	BN	N	N	BN	N	N	BN	Ex
	ORN	Fe>K>Cu>>Zn>Ca>P>Mg>Mn>N>B									
L-2-Hoja 2 años	CN	4.01	0.15	1.51	2.59	1.7	70.4	90.8	41.55	10.25	164.36
	IB	132.6	73.0	76.6	98.7	90.0	56.1	86.3	112.0	95.2	100.2
	C	AN	BN	BN	N	N	BN	N	N	N	N
	ORN	Fe>P>K>Mn>Mg>Cu>Ca>B>Zn>N>									

CN^z=Composición nutrimental; IB^y=Índice de balance de Kenworthy; C^x=Condición: D= deficiente, BN= debajo de lo normal, N=Normal, AN=arriba de lo normal, Ex=exceso; ORN^w=Orden de requerimiento de nutrientes.

El diagnóstico nutrimental foliar mediante índices de balance Kenworthy se muestra en el Cuadro 16. Se indica la concentración de nutrientes, los índices de balance, la condición respecto al estándar y el orden de requerimientos en forma descendente. El déficit de nutrientes resultó abajo de lo normal en Fe en ambas edades. El K y Cu fueron abajo de lo normal para árboles de seis años, el Zn, Ca, P, Mg y Mn se encontraron en concentración normal, N y B en exceso. Para los árboles de dos años los nutrientes que se encuentran en condición normal son Mn, Mg, Cu, Ca, B y Zn, abajo de lo normal P y K arriba de lo normal N. Los nutrientes deficientes son aquellos que se tomaron en cuenta en el diseño de tratamientos para la corrección de deficiencias

Se evaluó la calidad de agua en el laboratorio de Química de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo. De acuerdo a Jones y Wolf (1984) se estableció la clasificación de agua para riego (Cuadro 17).

Cuadro 17. Clasificación de calidad de agua para las plantaciones de dos y seis años de edad según Jones y Wolf (1984).

Parámetros	Valor	Clasificación	Parámetros	Valor	Clasificación
Conductividad eléctrica (dSm-1)	1.53	Media	Calcio (mg L ⁻¹)	83.18	Buena
Sodio (meq L ⁻¹)	9.2	Mala	Sodio (mg L ⁻¹)	211.46	Mala
Nitratos (mg L ⁻¹)	15.5	Buena	Boro (mg L ⁻¹)	1.2	Media
Cloruros (meq L ⁻¹)	5.5	Media	RAS	4.2	Media
Fosfatos (mg L ⁻¹)	2.16	Buena	pH	6.93	Medio
Bicarbonatos (meq L ⁻¹)	8.4	Buena	Salinidad efectiva	7.8	Condicionada
Magnesio (mg L ⁻¹)	63.4	Mala	Salinidad potencial	6.9	Condicionada

4.3.4 Evaluación inicial de rendimiento y contenido de aceite

Se cosechó durante los meses febrero, marzo, abril y mayo de 2014. Se pesaron las semillas y se reportó el rendimiento para el Lote 1 y 2 (Cuadro 18). Se obtuvo una muestra compuesta de 100 g de semilla, cinco gramos por 20 árboles de cada lote. Se secó la semilla durante 3 horas a 70°C, se pesaron, se retiró el pericarpio y se pesaron de nuevo, en seguida se trituro el grano en un molino mecánico.

Cuadro 18. Rendimiento, peso y contenido de aceite de semillas de M. oleifera en la primera floración en época de sequía.

Chilac, Puebla	Densidad	Rendimiento de semilla/árbol	Peso promedio de vaina	Peso de 50 semillas	Peso de 50 granos ^z	Contenido de aceite
	árboles/h a	g	g	g	g	%
Lote 1(6 años)	1685	43.9	6.52	5.86	4.04	20.70
Lote 2 (2 años)	1018	62.3	6.48	6.07	4.07	26.80

Granos^z= semillas sin pericarpio

El contenido de aceite o grasa cruda se determinó por extracción directa con disolvente orgánico hexano, en un extractor tipo Soxhelt en el laboratorio de investigación de la Universidad Autónoma Chapingo (Figura 7), se realizaron tres repeticiones por muestra. La muestra molida se colocó en tres cartuchos de celulosa, se colocó algodón en la boca del cartucho para distribuir el goteo del solvente y se pesaron. Se colocaron 250 ml de hexano en el balón de destilación. Después de armar el equipo se calentó el hexano sobre una placa eléctrica. Se mantuvo el goteo del solvente hasta que el goteo no presentara marcas de aceite, se retiró el cartucho y se secó en una estufa a 40°C por una hora y se pesó inmediatamente para evitar que adquiriera humedad del ambiente. El contenido de aceite se determinó restando el peso inicial menos el peso final (AOAC, 1998).

$$Pf \times 100 / Pi = \% \text{ de contenido de aceite en semilla}$$

En dónde Pf=Peso final del cartucho y Pi=Peso inicial del cartucho

4.3.5 Datos morfológicos iniciales de la plantación

Cada árbol se identificó con el número de Lote, hilera y la posición con respecto a la hilera en la que se ubican dentro de la huerta. La medida inicial de altura y el diámetro del cuello de la raíz (DCR) de los árboles se realizaron para escoger árboles con porte y vigor similares para determinar las unidades experimentales en el Lote 1 con seis años de edad (Anexo 1) y para el lote dos con dos años (Anexo 2). Estos datos se comparan más adelante con una segunda medición de los mismos factores para analizar la incidencia de los tratamientos sobre el diámetro y altura y su relación con el rendimiento de semilla y contenido de aceite. Para la medición del diámetro del cuello de la raíz se utilizó un vernier digital y para la altura un flexómetro de cinco metros desde el cuello de la raíz hasta el ápice más alto del árbol. Se calculó el volumen del árbol con el diámetro y la altura del árbol para compararlos con los datos finales.

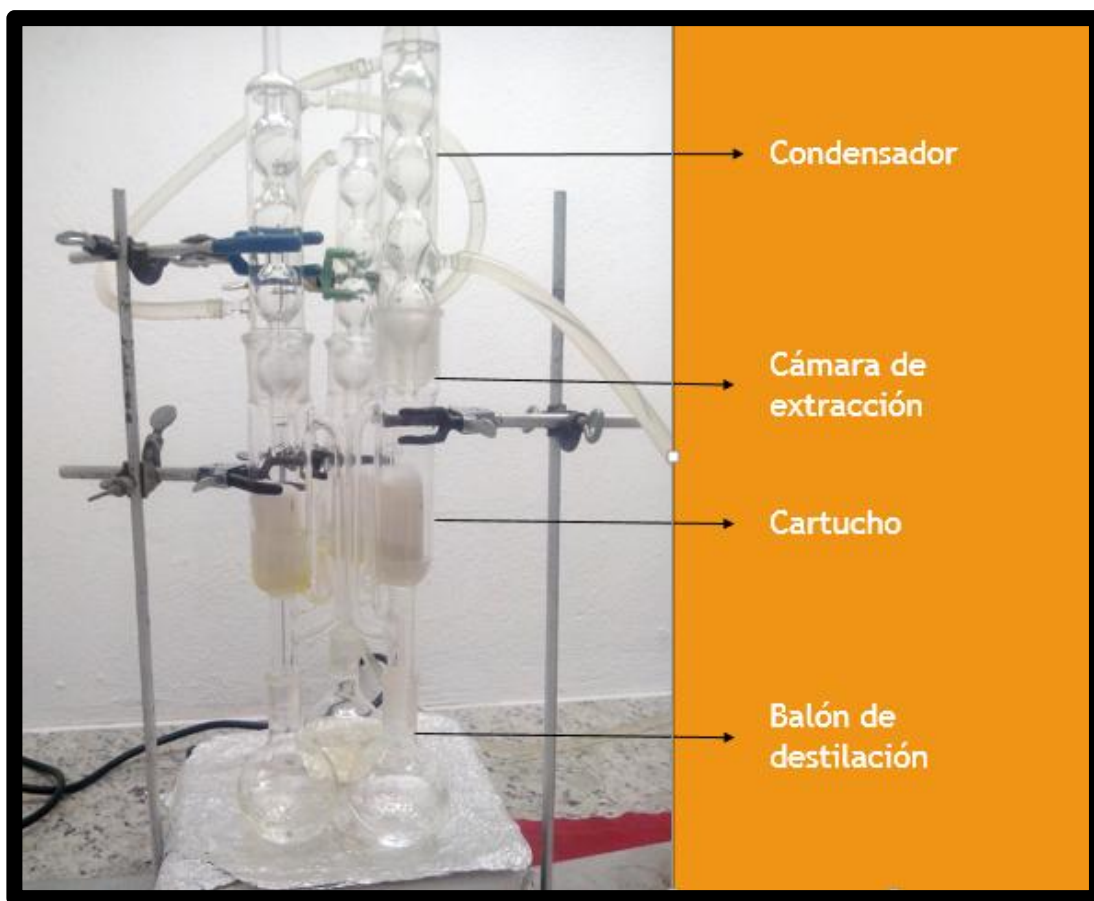


Figura 7. Equipo tipo Soxhlet para determinar materia grasa de la semilla de Moringa oleífera.

4.4 Descripción de tratamientos y diseño experimental

Con base en los análisis de suelo e índices de balance Kenworthy se generó un tratamiento óptimo de fertilización cuatro tratamientos generados por el factor edad de la plantación y la fertilización (Cuadro 16), se generaron los siguientes tratamientos. Para el Lote 1 (seis años) fueron: a) tratamiento sin fertilización con el manejo que los productores dan a sus árboles, sin fertilización (6SF); b) fertilización al suelo y foliar (6F) consistente en dos aplicaciones de la dosis (352.9 g de S, 178.2 g de N, 23.62 g de P, 21.8 g de Fe, 24.9 g de Mn, 16.3 g de Zn y 11.4 g de Cu por árbol). Los tratamientos para el lote 2 (2 años de edad) fueron: a) sin fertilización (2SF); b) con fertilización (2F), en dos aplicaciones de la dosis (237.4 g S, 209.42 g de N, 88.64 g P, 51.28 g de K, 25.3 g de Fe, 30.6 g

de Mn, 18.8 g de Zn y 14.3 g de Cu por árbol), se realizaron las correcciones de dosis para cada fuente de fertilizante (Cuadro 19).

Cuadro 19. Adición de nutrientes en la fertilización de suelo para los Lotes 1 y 2.

Variable	----- 6 años -----		----- 2 años -----	
	kg.ha ⁻¹	g/árbol	kg.ha ⁻¹	g/árbol
Azufrar (pH)	414.01	352.9	717.6	235.0
Nitrógeno inorg.	73.00	58.8	88.0	69.11
Fósforo (P ₂ O ₅)	17.08	20.79	55.0	78.1
Potasio (K ₂ O)	0.00	0.0	23.0	44.58
Calcio (CaO)	0.00	0.0	0.0	0.0
Magnesio (MgO)	0.00	0.0	0.0	0.0
Hierro	4.90	21.8	4.9	25.3
Manganeso	5.90	24.9	6.2	30.6
Zinc	6.76	16.3	6.7	18.8
Cobre	3.38	11.4	3.6	14.3
Boro	0.00	0.0	0.0	0.0

Las fuentes de fertilizantes fueron: fosfonitrato, fosfato monoamónico, nitrato de potasio, sulfato de hierro, sulfato de manganeso, sulfato de zinc y sulfato de cobre. El azufre se aplicó como corrector de alcalinidad. La aplicación de tratamientos fue en dos dosis, la primera se realizó el 2 de mayo del 2014 con dos riegos de auxilio, uno inmediato y el siguiente a las dos semanas (Figura 10). La segunda dosis se aplicó de la misma forma con dos riegos el día 2 de junio del mismo año. La aplicación de fertilizante se realizó dentro de la cepa de cada árbol al voleo, incorporándolo a una profundidad de 8 cm. En ambos lotes, la fertilización foliar consistió en tres aplicaciones foliares de un compuesto de micronutrientes (11.34 S, 10.00 Fe, 10.00 Mn, 3.00 Zn, 0.75 Cu, 1.75 B, 0.80 Mo, 60.36 % T. orgánicos) al 3% para las dos plantaciones. Se aplicaron tres fertilizaciones foliares intermitentes los días 2 de junio, de julio y agosto del mismo año para cada lote. La primera aplicación de fertilizante foliar se realizó a las 7:00

h y se observó una clorosis en las hojas debido a la fuerte radiación solar en la zona, por lo que se aplicaron las dos dosis siguientes a las 18:00 h.

4.4.1 Diseño experimental y análisis de datos

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2X2. El diseño de tratamientos fue de dos factores (edad y fertilización) con dos niveles cada uno para edad seis y dos años y para fertilización con y sin fertilización. Se consideraron 5 repeticiones por cada tratamiento con tres árboles como unidad experimental. El análisis se realizó con un software estadístico SAS 9.0, con análisis de varianza (ANOVA) y medias múltiples (Tukey).

El modelo asociado al análisis estadístico es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + a_j + b_k + ab_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

En donde:

Y_{ij} : Variable respuesta en cinco réplicas de los cuatro tratamientos

μ : Media general

a_j : Efecto de 2 y 6 años

b_k : Efecto de la fertilización

$(ab)_{jk}$: Efecto de la interacción edad X fertilización

ε_{ijk} : Componente del error aleatorio

Se realizó una correlación de Pearson entre las variables de la concentración de nutrientes y rendimiento de semilla (incluyendo diámetro final y altura final).

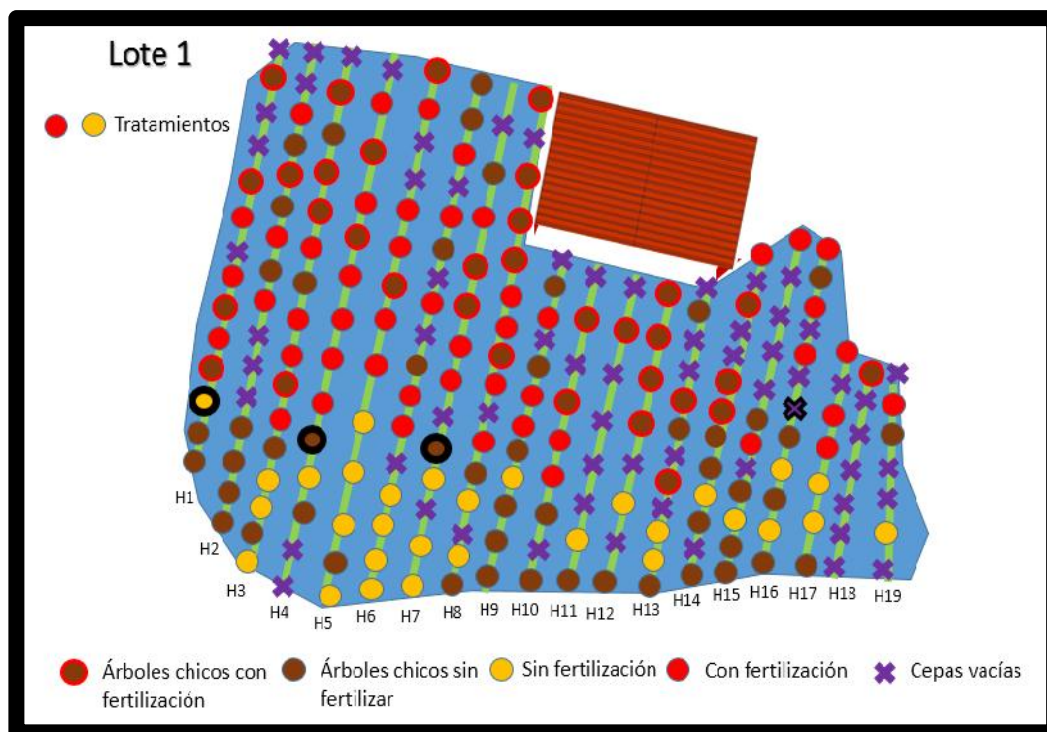


Figura 8. Localización de tratamientos dentro de la parcela experimental (Lote 1).

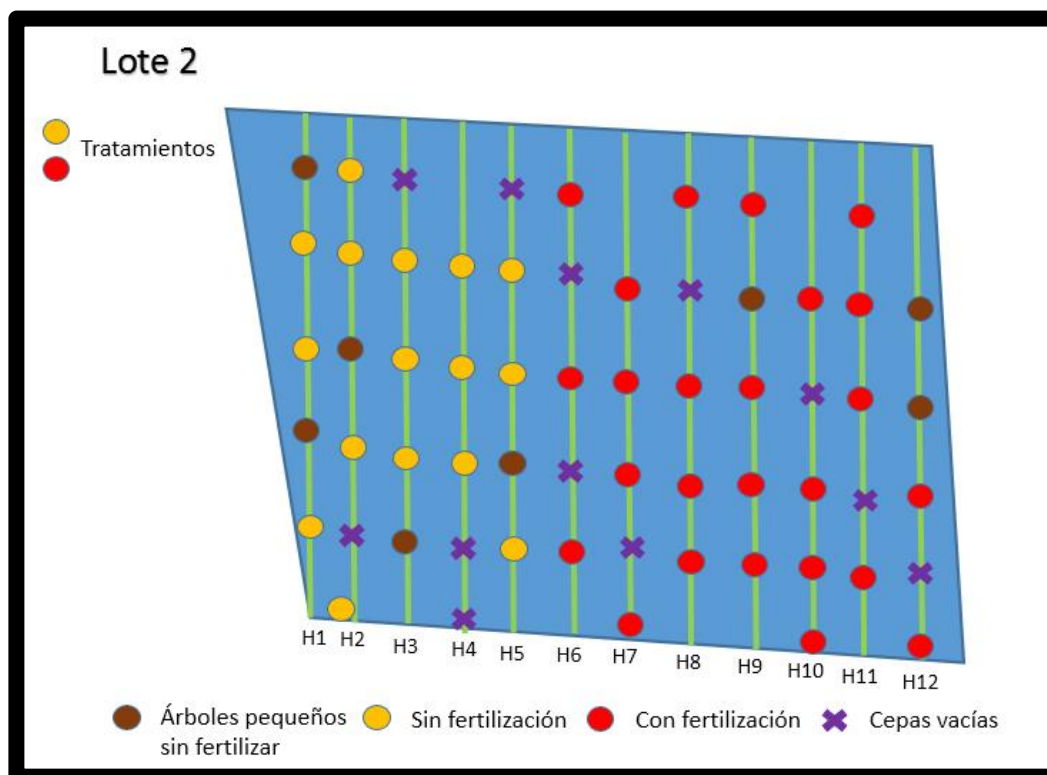


Figura 9. Localización de tratamientos en la parcela experimental (Lote 2).



Figura 10. Árboles de moringa fertilizados con el segundo riego de auxilio

4.5 Control de Plagas

Al término de la aplicación de tratamientos comenzó una fuerte incidencia de hormiga arriera (*Atta* sp.) sobre algunos individuos de *Moringa oleífera*. Se realizó un control en principio con cebo en pelets (Abamectina), colocando el cebo alrededor del hormiguero durante la noche, aproximadamente a las 21:00 h (tiempo de actividad de las hormigas), sin embargo las galerías fueron muy amplias en la zona de estudio y la incidencia no disminuyó. Se consultó al doctor Ranferi Maldonado Torres de la UACh y se realizó un control mecánico individual colocando unos conos de mica en el tronco principal para evitar el ascenso de la hormiga al árbol y el corte foliar. Se observó que el encargado de la huerta el señor Juan utilizaba para el mismo fin bolsas de plástico amarradas con un lazo alrededor del tronco principal y colocadas en forma de cono en árboles localizados alrededor de la huerta, con un menor gasto y en menor tiempo, por

lo que se aplicaron los dos controles para evaluar su eficiencia los días 11-13 de agosto del 2014.



Figura 11. Colocación de barreras para el control mecánico de hormiga arriera (*Atta* sp.).

4.6 Diagnóstico nutrimental y rendimiento final

El muestreo foliar se realizó al comienzo de la segunda floración de *M. oleifera*. El 15 de agosto 2014 se tomaron las muestras de tejido foliar para cada tratamiento.

4.6.1 Análisis de tejido vegetal y diagnóstico nutrimental final

Del mismo modo que en el muestreo inicial se tomaron cuatro hojas sanas por árbol en cada punto cardinal y ubicadas en la tercera posición de la rama desde el ápice. Se almacenaron en bolsas de papel rotuladas con el número de identificación de cada individuo del que fueron tomadas. Se llevaron inmediatamente al laboratorio de Química de Suelos de la UACH. Las muestras se lavaron en un tren de agua corriente-HCL (8%)-destilada-desionizada y se secaron en la estufa a 70 °C por 72 horas. Las muestras tuvieron el mismo proceso de molienda que las primeras. Se asignó un número a cada muestra y en una tabla de números aleatorios se determinaron las unidades experimentales para el análisis de datos. Se pesó un gramo por cada una de las tres muestras

obtenidas por cada unidad experimental y se mezclaron para su posterior análisis nutrimental.

Bajo la misma técnica de determinación de nutrientes inicial se obtuvo la concentración de Ni, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu y B para cada muestra de los tratamientos 6SF y 6F para los árboles con seis años de edad sin y con fertilización respectivamente y de igual manera para los tratamientos 2SF y 2F de dos años de edad sin y con fertilización con cinco repeticiones (Figura 16).

A partir del promedio de repeticiones en la concentración de nutrientes de los cuatro tratamientos (6SF, 6F, 2SF, 2F), el estándar (S) y Coeficientes de Variación (CV) se calcularon los Índices de balance Kenworthy para el diagnóstico final de la plantación. Se midió la altura desde el cuello de la raíz hasta el ápice más alto y el diámetro del cuello de la raíz en cada individuo perteneciente a la unidad experimental correspondiente y se promediaron los datos para su posterior análisis.



Figura 11. Digestión de muestras de tejido vegetal y lectura en espectrofotómetro de absorción atómica

4.6.2 Rendimiento de vaina, semilla y contenido de aceite final

Se tomaron datos del inicio de floración, comienzo de fructificación y tiempo de maduración del fruto. La cosecha de vainas comenzó el primero de febrero del 2015 hasta el 12 de febrero del mismo año. Previamente se colocaron costales rotulados con el número de árbol y unidad experimental correspondiente a cada árbol para la cosecha de vainas (Figura 13). Durante los días de cosecha se introdujeron las vainas secas a los costales y se registró el peso total por árbol. Se extrajeron las semillas de las vainas y se contabilizó el número de semillas de 30 vainas. Se registró el peso total de semillas por árbol y el peso de 200 semillas. Se retiró el pericarpio de 50 semillas de cada árbol y se pesaron. Los promedios de los datos fueron calculados para cada unidad experimental.



Figura 12. Colocación de costales para evaluar rendimiento de moringa en las plantaciones de seis y dos años (izquierda a derecha).

Para la evaluación del contenido de aceite final se retiró el pericarpio de 100 semillas por árbol y se mezclaron en correspondencia a las unidades experimentales, se molieron en un mortero de porcelana y se colocó una pequeña muestra de aproximadamente un gramo en un papel filtro Whatman 4 en forma de cono, se registró el peso del papel antes y después de colocar la muestra y secaron las muestras por 24 h a 60°C en una estufa Fisher Scientific Isotemp Oven Modelo 615F. Se pesaron las muestras secas y los contenedores que reciben el aceite extraído. Se colocaron las muestras en cartuchos de celulosa y

se introdujeron junto con los contenedores en el extractor Soxtec™ 2050 Auto System con hexano por tres horas (Figura 14).

Finalmente se registró el peso del contenedor para calcular el contenido de aceite mediante las siguientes fórmulas.

$$CA = \left(\frac{PCM - PC}{PMS} \right) 100$$

$$PMS = PPMS - Pp$$

En donde:

CA = Porcentaje del contenido de aceite

PCM = Peso del contenedor con muestra de aceite

PC = Peso del contenedor

PMS = Peso de la muestra seca

$PPMS$ = Peso del papel con muestra seca

Pp = Peso del papel



Figura 13. Evaluación final de rendimiento de vaina y semilla de *M. oleífera*.



Figura 14. Extracción de aceite de *Moringa oleifera* en extracor Soxtec™ 2050 Auto System para determinar contenido de aceite (38-39%).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Diagnóstico nutrimental del suelo y foliar inicial de *Moringa oleífera*

De acuerdo a la NOM-021 (2000) los suelos se clasifican como medianamente alcalinos, con baja concentración de materia orgánica en la plantación de dos años y media para la de seis años. El hierro (Fe) y cinc (Zn) fueron deficientes en ambas plantaciones. Para la plantación de dos años el nitrógeno (N) en nivel medio y fósforo (P) en nivel bajo y para la plantación de seis años en nivel alto en ambos nutrientes. Calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y boro (B) se encontraron en altas concentraciones en ambas plantaciones.

Según Reyes (2006) la moringa crece en un suelo con intervalo de pH entre 4.5 y 8, aunque prefiere suelos neutros o ligeramente ácidos. Por lo tanto, es posible su cultivo en las condiciones de clima y pH del suelo de Tehuacán, Puebla, siempre que se corrijan las deficiencias nutrimentales que presentan estos suelos. Las deficiencias de micronutrientes hierro (Fe) y zinc (Zn) encontradas en el suelo, son comunes en suelos alcalinos, debido a que precipitan formando compuestos poco solubles, siendo necesaria la corrección del pH mediante la aplicación de azufre (Sierra *et al.* 2007). La aplicación de azufre tiene como propósito disminuir el pH aumentando la disponibilidad de los micronutrientes Fe, Mn, Cu y Zn, por lo que se precisaría balancear la relación entre éstos a fin de evitar competencias iónicas, es decir, sería necesaria su aplicación aun cuando su disponibilidad en el suelo indicara nivel de suficiencia.

De acuerdo con el análisis foliar y el diagnóstico según los índices de balance Kenworthy (Cuadro 13), la suficiencia de P (plantación de 6 años) o deficiencia (plantación de 2 años) coincidió con su disponibilidad en el suelo; esta congruencia también se observó en Fe (Cuadro 13 y 14). Las plantas pueden presentar deficiencia de hierro debido al antagonismo con Ca, principal factor en condiciones calcáreas, pero principalmente al exceso de bicarbonatos del suelo y del agua de riego que precipitan las formas solubles de dicho elemento (Obreza

et al. 1998). El hierro se almacena en los cloroplastos de las hojas en forma de fosfoproteína férrica, que sirve de reserva para el desarrollo de los plastos y por lo tanto para la fotosíntesis. Este nutriente también es un componente estructural de enzimas, proteínas y citocromos que sirven como transporte de electrones en la fotosíntesis, respiración y participa en reducción de NO_2^- NH_4^+ (Foth, 1990).

La concentración de Zn y Mn en el tejido foliar, resultaron en una concentración normal, aun cuando el Zn fue deficiente en el suelo, lo cual indica, que para estas condiciones de suelo, la moringa desarrolla estrategias de adaptación que favorecen el acceso a nutrientes poco disponibles como el Zn. Según Obreza *et al.* (1998), el Zn puede ser quelado por compuestos orgánicos excretados por la raíz, resultando en un proceso que favorece su absorción.

Con relación al K que se encuentra en altas concentraciones en el suelo, pero deficiente en las plantas, ésta puede ser ocasionada por un exceso de calcio, magnesio y sodio (Russel, 1989). Por otra parte, los altos niveles de calcio presentes en el suelo, también alteran las relaciones catiónicas con el K y Mg, limitando la absorción de éstos, misma que se reflejó en el análisis foliar (Obreza *et al.* 1998).

El nitrógeno foliar se encontró en exceso y arriba de lo normal para los seis y dos años, en congruencia con el análisis de suelo que fue alto y medio (para seis y dos años, respectivamente), aunque se esperaría una mayor concentración en plantas más jóvenes debido a que la absorción de nitrógeno disminuye gradualmente con la edad. Las plantas pueden presentar una alta concentración de nitrógeno cuando el suministro de fósforo y potasio es inadecuado. Además, con altos niveles de fósforo y potasio se puede evitar el crecimiento suculento y el retraso de la maduración (Troeh y Thompson, 2005). Si bien el exceso de nitrógeno produce favorece el rendimiento foliar, éste puede ser a expensas de la producción de frutos y semilla. Al ser alto el suministro de N puede resultar en una mayor demanda de compuestos carbonatados y menor la cantidad dirigida a la formación de paredes celulares, por lo que quedan más vulnerables las plantas

a plagas, enfermedades y a los cambios ambientales; en el caso de climas secos muy cálidos quedan expuestas a la pérdida de humedad (Foth, 1990).

El azufre es absorbido en SO_4^{2-} y es reducido a S_2 que se incorpora a los aminoácidos cistina, cisteína y metionina y son transformados a proteínas. La deficiencia de azufre altera muchas reacciones bioquímicas, la carencia resulta con consecuencias similares a la del nitrógeno, excepto porque la de azufre puede observarse en las hojas nuevas (Foth, 1990). No se presentan suficientes datos en la literatura de concentraciones de azufre foliar, por lo tanto no pudo estimarse el estándar ni realizar el índice de balance para este nutriente. En las plantaciones de seis y dos años de edad la concentración foliar fue de 0.394 y 0.440% respectivamente, en comparación con la experiencia de Busani *et al.* (2011) en dónde se encontró una concentración de 0.63%.

El boro puede presentar una baja solubilidad en estos suelos, sin embargo su nivel de concentración es alto y el requerimiento de las plantas es usualmente bajo (Troeh y Thompson, 2005). Para el diagnóstico de suelos la concentración resultó muy alta para las dos plantaciones y los índices de balance resultaron en exceso para los seis años y normal para los dos años. Algunas especies de plantas presentan síntomas de toxicidad arriba de los 200 mg kg⁻¹. El boro facilita el paso de los azúcares a través de las membranas celulares, la deficiencia de B lleva a una reducción de niveles de RNA y la disminución de la división celular en meristemas radiculares (Foth, 1990).

La salinidad resultó en 13.71 y 5.33 dS m⁻¹ para el suelo de seis y dos años respectivamente, resultando en fuertemente salino y salino (NOM 021, 2000). El árbol de Moringa oleífera prefiere suelos neutros o ligeramente ácidos por lo que su cultivo en suelos alcalinos afecta en su rendimiento. El árbol se desarrolla bien a los 8 dS m⁻¹ con una ligera reducción de su biomasa, el incremento de salinidad se correlaciona positivamente con el contenido de sodio y fósforo y la actividad de antioxidantes (12 dS m⁻¹) y negativamente con el calcio, magnesio y potasio, por lo que moringa es moderadamente tolerante a las condiciones salinas

(Nouman *et al.* 2012). Según Troeh y Thompson (2005) estos suelos tienen una disponibilidad de nutrientes aceptable, el principal problema de los suelos salinos es la escasez de agua disponible para las plantas. El agua de riego fue analizada para ambas plantaciones (Cuadro 17), lo que resultó en general de calidad media pero condicionada para suelos con buen drenaje para evitar la acumulación de sales, sodio y magnesio por falta de lixiviación (Jones y Wolf, 1968). La acumulación de sales ocasiona el aumento de la tensión osmótica, más estrés y por lo tanto la planta tiene que hacer mayor esfuerzo para absorberla. (Balmaceda y García, 2013).

No se encontraron datos suficientes de la concentración de nutrientes en las flores de *Moringa oleífera* para hacer una comparación, según Amaglo *et al.* (2010) la concentración de K y Ca en plantas de 11 meses de edad es de 3.51 y 0.17% de K y Ca respectivamente, en el presente estudio se encontraron concentraciones de 2.33 y 0.39% de K y Ca para los seis años y de 2.25 y 0.36 % de K y Ca para los dos años. Las diferencias podrían estar ligadas al ambiente, es posible que el potasio se encuentre en menor concentración en las plantas de mayor edad, debido a las condiciones ambientales (trópico húmedo). Se sabe que la movilidad del K es mayor cuando existe agua disponible de agua suficiente. Por su parte, en el caso del Ca, el suelo de Tehuacán, Puebla contiene una alta cantidad de Ca que puede verse reflejado en los análisis del tejido de las flores.

5.2 Diagnóstico nutrimental de suelo y foliar final de *Moringa oleífera*

La corrección de las deficiencias nutrimentales (tratamiento con fertilización) resultaron en: S como corrector de pH para ambas plantaciones, N, P, Fe, Mn, Zn y Cu para los 6 años de edad (6F) y N, P, K, Fe, Mn, Zn y Cu para los dos años (2F) de acuerdo a los análisis de suelo y requerimientos de nutrientes de *Moringa oleífera*. Ambas plantaciones coincidieron en la deficiencia nutrimental, con excepción del K que se agregó a las plantas de dos años.

El diagnóstico para los cuatro tratamientos (con y sin fertilización) se muestra en el Cuadro 20.

De acuerdo a los análisis del tejido foliar la fertilización incrementó la concentración de nutrientes deficientes elevando el nivel de concentración de los tratamientos con fertilización (6F y 2F) sobre los tratamientos sin fertilización (6SF, y 2SF) y de los resultados del diagnóstico nutrimental inicial (Cuadro 13) para las dos plantaciones, excepto en el K que presentó un nivel más bajo en el tratamiento con fertilización para los dos años (2SF).

Cuadro 20. Diagnóstico nutrimental final de plantaciones de Moringa oleífera de los seis y dos años de edad.

		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
		----- % -----				----- mg kg ⁻¹ -----					
Sin fertilización 6 años (6SF)	CN ^z	3.47	0.23	1.8	2.32	0.61	98.17	130.7	17.08	7.76	2234
	IB ^y	117.3	100.0	86.9	91.5	52.6	67.7	111	61.2	79.4	1015.1
	C ^x	AN	N	N	N	BN	BN	N	BN	BN	Ex
	ORN ^w	Mg>Zn>Fe>Cu>K>Ca>P>Mn>N>S>B									
Con fertilización 6 años (6F)	CN	4.14	0.29	1.73	1.86	0.41	434.94	196.9	62.42	23.31	1796
	IB	136.3	120.2	84.4	79.4	45.7	209.2	152	155.3	178.1	821.7
	C	AN	AN	N	BN	BN	Ex	Ex	Ex	Ex	Ex
	ORN	Mg>Ca>K>P>N>Mn>Zn>Cu>Fe>S>B									
Sin fertilización 2 años (2SF)	CN ^z	3.56	0.28	1.5	2.5	0.4	111.51	133.118	19.82	7.34	1874
	IB ^y	119.8	116.9	76.3	96.3	45.3	73.3	112.4	66.9	76.8	856.1
	C ^x	AN	N	BN	N	D	BN	N	BN	BN	Ex
	ORN ^w	Mg>Zn>Cu>Fe>K>Ca>Mn>P>N>S>B									
Con fertilización 2 años (2F)	CN ^z	4.34	0.28	1.27	2.1	0.34	384.26	218.74	56.92	18.24	1416
	IB ^y	142.0	116.9	68.1	85.7	43.3	187.9	165.4	143.9	145.9	653.8
	C ^x	AN	N	BN	N	D	Ex	Ex	AN	AN	Ex
	ORN ^w	Mg>K>Ca>P>N>Zn>Cu>Mn>Fe>S>B									

CN^z=Composición nutrimental; IB^y=Índice de balance de Kenworthy; C^x=Condición: D= deficiente, BN= debajo de lo normal, N=Normal, AN=arriba de lo normal, Ex=exceso; ORN^w=Orden de requerimiento de nutrientes.

De acuerdo a los índices de balance Kenworthy el N resultó arriba de lo normal para los cuatro tratamientos con las concentraciones 3.47 ± 0.18 , 4.14 ± 0.27 , 3.56 ± 0.28 , 4.34 ± 0.15 (Anexo 5) para los tratamientos 6SF, 6F, 2SF y 2F respectivamente y los índices de balance Kenworthy resultaron en 117.3, 136.3,

119.8 y 142.0 en el mismo arreglo, considerando que el rango normal es de 83-116 (Kenworthy, 1961) los tratamientos sin fertilización presentaron un nivel más cercano al normal. La concentración más alta que reporta Pita *et al.* (2012) para una plantación inoculada con micorrizas (*Glomus fasciculatum*) es de 3.59% que es más cercano a los tratamientos sin fertilización, lo que podría reducir la adición de nitrógeno en la fertilización de Moringa en un suelo con alta y media concentración de nitrógeno (Troeh y Thompson, 2005). Según Price (1985) se requiere aproximadamente de un aporte de 0.30 kg de N por árbol para cubrir las necesidades de plantación y producir 63 kg/árbol de materia fresca; si el objetivo es producir semilla, se necesita reducir el crecimiento vegetativo (ocasionado por exceso de nitrógeno) para inducir con mayor prioridad la producción de frutos (Troeh y Thompson, 2005). Por lo que la concentración inicial de N encontrada en el suelo podría ser suficiente para el requerimiento de las plantaciones en la zona de estudio de Tehuacán (Cuadro 14).

La concentración de fósforo foliar fue normal para los tratamientos 6SF, 2SF, 2F con una concentración de 0.23 ± 0.01 , 0.27 ± 0.28 y $0.28 \pm 0.15\%$, de acuerdo a los estándares generados; arriba de lo normal con un índice de balance de 120.2 para el tratamiento 6F con una concentración de $0.29 \pm 0.27\%$, el cual no es muy alto en comparación con los otros tratamientos. Según Del Toro *et al.* (2011) reporta el valor más alto de concentración de P en hoja 0.35% con una fertilización orgánica y Moyo *et al.* (2011) de 0.30 %, por lo que la concentración del 6F podría estar dentro de los niveles normales. En el diagnóstico inicial se encontró deficiencia de este nutriente para la plantación de dos años la cual fue corregida con la fertilización, que implicó la corrección de pH que permitió una mejor disponibilidad del P y el riego que es un factor que favorece el proceso de difusión (Barber, 1980). En el Cuadro 22, se muestra la comparación entre el diagnóstico inicial foliar y el diagnóstico final para los cuatro tratamientos con y sin fertilización para seis y dos años (6SF, 6F, 2SF y 2F).

El nivel de concentración del K foliar resultó en normal para 6SF y 6F mientras debajo de lo normal para 2SF y 2F con una concentración de 1.5 ± 0.41 y 1.3

± 0.43 e índices de balance de 76.3 y 68.1 para los dos años sin y con fertilización. La corrección de la concentración del nutriente en la planta fue efectiva para la plantación de seis años en donde no se agregó el nutriente, esto porque se balanceó la relación K, Ca y Mg en el suelo. Sin embargo, en la de dos años en donde se añadió K presentó una concentración aún debajo de lo normal por lo que se precisa reconsiderar los balances entre K/Mg y K/Ca para mejorar la disponibilidad del K, esto se corrobora con el comportamiento del Mg en la planta, cuya concentración disminuyó en las dos plantaciones presentándose como debajo de lo normal para la de seis años 0.61 ± 0.21 y 0.41 ± 0.07 (sin y con fertilización) con un índice de balance (IB) de 52.6 y 45.7 y deficiente para la de dos años 0.4 ± 0.03 , 0.34 ± 0.03 (2SF y 2F) con IB 45.3 y 43.3. Se han reportado concentraciones de K de 1.5, 1.77, 2.1, 2.5 % y de Mg de 0.30, 0.089, 0.43, 0.45, 0.50 % (Foild *et al.* 2001; Amaglo *et al.* 2010; Del Toro *et al.* 2011, Moyo *et al.* 2011).

El Ca se encontró en una concentración normal para 6SF, 2SF y 2F en una concentración de 2.3 ± 0.35 , 2.5 ± 0.20 , 2.1 ± 0.25 % y debajo de lo normal para 6F con una concentración de 1.9 ± 0.26 % y un índice de balance de 79.4, en el diagnóstico inicial se encontró en una concentración foliar normal en ambas plantaciones y alta en el suelo, este nutrimento no fue agregado, sin embargo presenta baja concentración en 6 años por lo que podría estar relacionado con un antagonismo con el P, el cual resultó arriba de lo normal para este tratamiento (Alcantar, 2009). Amaglo *et al.* (2010) determinó tres concentraciones de Ca en hoja 2.04, 1.93 y 1.44 % y Moyo *et al.* (2011) de 3.65 % por lo que la baja concentración de Ca en el tratamiento 6F podría estar dentro de un nivel normal.

El efecto de la fertilización fue más evidente en los micronutrientes que presentaron deficiencias en el análisis inicial foliar y de suelo. El Fe resultó abajo de lo normal para 6SF y 2SF con una concentración de 98.2 ± 13.2 y 11.51 ± 53.02 mg kg⁻¹ y (tratamientos sin fertilización) y en exceso para 6F y 2F $434.9 \pm$ y 384.3 ± 109.5 mg kg⁻¹, lo cual indica que hubo una corrección de la deficiencia. Sin embargo, el exceso puede deberse a la disminución de la concentración de Ca y

Mg con los que presenta antagonismo. La concentración de hierro en hoja se ha reportado de 490 mg kg⁻¹ (Moyo *et al.* 2011). Por lo que el exceso de este nutriente podría estar representando un índice de balance menor.

Cuadro 21. Cuadro comparativo del diagnóstico inicial foliar y diagnóstico final de cuatro tratamientos (6SF, 6F, 2SF y 2F) mediante índices de balance.

Nutriente	Diagnóstico inicial foliar		Diagnóstico foliar final			
	6 años	2 años	----- 6 años -----		----- 2 años ---	
			SF ^z	F ^y	SF	F
N	Ex	AN	AN	AN	AN	AN
P	N	BN	N	AN	N	N
K	BN	BN	N	N	BN	BN
Ca	N	N	N	BN	N	N
Mg	N	N	BN	BN	D	D
Fe	BN	BN ^I	BN	Ex	BN	Ex
Mn	N	N	N	Ex	N	Ex
Zn	N	N	BN	Ex	BN	AN
Cu	BN	N	BN	Ex	BN	AN
B	Ex	N	Ex	Ex	Ex	Ex

^z SF= sin fertilización (testigo)

^y F=con fertilización

El Mn resultó en exceso para los dos tratamientos con fertilización (6F y 2F) y normal para los tratamientos sin fertilización, al igual que el Fe el descenso de pH y de las concentraciones de Ca y Mg aumentaron su disponibilidad, así para los otros cationes como el Zn y Cu todos ellos presentaron una baja disponibilidad en pH altos y alta concentración de Ca y Mg en el diagnóstico inicial y en los tratamientos sin fertilización (sin corrección de pH) (Mortvedt *et al.* 1983). La concentración de Cu en el tejido foliar fue de 7.8±1.59, 23.3±3.55, 7.3±3.35, 18.2±4.39 en los tratamientos 6SF, 6F, 2SF y 2F respectivamente. El diagnóstico para los tratamientos con fertilización resultó en exceso para la plantación de seis años y arriba de lo normal para la de dos años. Se han registrado concentraciones de 7.1, 8.25, 10.6 y 11.2 mg kg⁻¹ (Foild *et al.* 2001; Moyo *et al.*

2011). Según Mortvedt *et al.* (1983) la concentración de Cu arriba de 20 ppm puede presentar casos de toxicidad en las plantas por lo que puede influir negativamente en el rendimiento. La aplicación de micronutrientes como fertilización foliar pudo ser el principal factor del incremento de la concentración ya que estos nutrientes pueden absorberse rápidamente por la planta (Salas, 2002). El único nutriente que se presentó en exceso en los cuatro tratamientos fue el B, esto debido a su alta concentración en el suelo.

El azufre presentó una concentración de 1.2 ± 0.1 y 1.4 ± 0.09 para los tratamientos de seis años y dos años sin fertilización y de 1.8 ± 0.05 y 1.4 ± 0.17 para los tratamientos 6F y 2F (con fertilización), no se encontró en la literatura información para este nutriente por lo que no se obtuvo un índice de balance para el diagnóstico foliar. El azufre se aplicó como un corrector de alcalinidad para incrementar la disponibilidad de fósforo y micronutrientes para las plantas de *Moringa oleífera*. El azufre se aplicó en una dosis de 414 kg ha^{-1} para el suelo de la plantación de 6 años con un pH de 7.9 y $717.63 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}$ para un pH de 8.27 en la de dos años de edad. En la experiencia de Sierra *et al.* (2007) encuentran una reducción del pH 7.9 a 7.44 con una adición de 750 kg ha^{-1} y del pH 8.3 a 6.39 agregando 500 kg ha^{-1} y un incremento significativo en la disponibilidad de Fe, Zn, Mn y Cu. La aplicación de azufre mejoró la disponibilidad de estos nutrientes para las plantas, incrementándose los índices de balance para exceso y arriba de lo normal en todos ellos. Moyo *et al.* (2011), determinan el contenido de azufre en *Moringa* con un 0.63% de concentración foliar en climas secos con una temperatura media anual de 15°C . Según Alcántar y Trejo-Tellez (2009) una de las condiciones que favorecen la oxidación microbiológica de azufre y por lo tanto su disponibilidad es la temperatura entre 27.35°C por lo que es posible que la concentración reportada esté por debajo de lo normal debido a las condiciones de humedad y temperatura. La concentración foliar inicial fue de 0.394 y 0.440% para los seis y dos años respectivamente, la muestra inicial se obtuvo en temporada de sequía por lo que debió sumarse la disponibilidad de agua y el incremento de la concentración en el suelo para aumentar su disponibilidad.

5.3 Efectos de la edad de la plantación y fertilización en las variables de rendimiento.

La mayoría de las diferencias significativas ($P<.0001$) provienen del efecto de la edad excepto en el porcentaje de aceite, en los efectos de la fertilización no se presentaron diferencias significativas, sin embargo en la interacción de la edad con la fertilización se mostró una diferencia significativa ($P<0.05$) en el porcentaje de aceite (Cuadro 22).

Cuadro 22. Rendimiento de Moringa oleífera con y sin fertilización en dos plantaciones de diferente edad.

	Variable	Edad 6 años		Edad 2 años	
		Sin fertilización	Con fertilización	Sin fertilización	Con fertilización
Árbol	Diámetro (cm)	1.09	1.12	0.48	0.52
	Altura (cm)	313.17	317.40	225.05	239.33
	Volumen (cm ³)	156.68	163.96	42.53	50.00
Vainas	Peso por árbol (g)	610.00	565.10	107.03	127.93
	Número por árbol	135.07	145.10	39.97	45.93
Semilla	Peso por árbol (g)	223.82	178.24	29.70	44.92
	Número por vaina	12.67	13.13	10.40	11.33
	Peso de 200 semillas (g)	29.00	25.07	18.40	17.80
	Peso de 50 granos (g)	6.38	5.14	3.98	3.32
	Contenido de aceite (%)	38.35	31.18	36.69	36.91
Aceite	Peso por árbol (g)	85.83	55.58	10.90	16.58
	Peso por ha ^z (kg)	101.71	65.86	12.91	19.65

^z Peso sobre densidad de 1118 árboles por hectárea.

5.3.1 Efecto de la edad de la plantación

Para los efectos principales de la edad sobre el rendimiento es común encontrar mayores rendimientos de semilla en árboles más viejos y sanos, sin embargo, no se dispone de información sobre el comportamiento de árboles mayores a dos años; en este aspecto este trabajo fue pionero para comparar el rendimiento entre

árboles jóvenes de dos años y más viejos (6 años). Se sugieren más investigaciones para evaluar el rendimiento en árboles de mayor edad y poder calcular el tiempo recomendable de reemplazo de los árboles en los sistemas agroforestales. El efecto de la edad sobre el peso de la semilla, peso de 200 semillas y el peso de 50 semillas sin pericarpio fue altamente significativo ($P < 0.0001$) con un 81.5, 33.4 y 36.6% mayor en los seis años de edad. El número de semillas por vaina tuvo una respuesta significativa ($P < 0.0053$) siendo un 15% más alta en árboles viejos, el contenido de aceite en semilla no tuvo diferencias significativas en la edad, sin embargo se obtuvo menor porcentaje de aceite (5%) en semillas de los árboles más viejos, 34.8 (seis años) y 36.8 (2 años). Ayerza (2012) reporta un rendimiento de semilla en árboles de Moringa de 176.17 y 481.25 g para árboles de uno y dos años con una diferencia del 63% y un porcentaje de aceite de 37.46 para un año y 36.28 para los dos años de edad en condiciones de suelos Aridisoles a una altitud de 454 m. Según Villa-Ramos *et al.* (2013) encontraron la mejor respuesta a un tratamiento de fertilización orgánica 4370 a 4500 semillas por kilogramo y Sharma y RaiNs (1982) reportan que puede haber variaciones en el peso de 3000 a 9000 semillas por kilogramo. En el presente estudio se calculó el número de semillas por kilogramo de 7399 y 11050 para seis y dos años respectivamente, lo que nos dice que el peso de las semillas para los seis años está dentro del rango, sin embargo el de dos años se aleja en gran medida de lo reportado por dichos autores. De acuerdo a Ayerza (2012) en condiciones áridas con suelos ricos en calcio y fósforo, pH de 7.7, precipitación de 394 mm y altura de 525 msnm, reportó para plantas de dos años: diámetro aproximado de 32.8 cm, cantidad de vainas por árbol de 154.8, 3968 semillas por kilogramo, peso total de semilla por árbol de 594 g, 16.4 semillas por vaina, el peso de 200 semillas de 50.40, el peso de 50 semillas sin pericarpio 36 g y el contenido de aceite de 36.30 %. De acuerdo a las medias de los rendimientos para las dos edades (Cuadro 24) el rendimiento obtenido en la plantación de seis años comparado con los reportados en la literatura para dos años es: similar en la variable del número de vainas por árbol, el peso de semilla por árbol y el peso de 200 semillas, aproximadamente dos veces más alto en la

literatura, el peso de 50 granos resultó 86 % más bajo en las plantación de seis años y el porcentaje de aceite fue más alto en las plantación de seis años. Sin embargo al comparar entre plantaciones de diferentes edades ubicadas bajo las mismas condiciones ambientales, los resultados concuerdan en que a mayor edad de las plantaciones de moringa, se reduce el contenido de aceite de semilla. Factores ambientales pueden estar influyendo negativamente sobre el rendimiento en las edades estudiadas, en cuanto a la altura se ha reportado que puede desarrollarse bien hasta los 1200 m (Ramachandran *et al.*, 1980) o hasta 1560 m en suelos con buen drenaje (Jama *et al.*, 1989), sin embargo el área presenta suelos con alto contenido en arcillas que en combinación con la altura puede inferir en la baja producción de semilla de acuerdo a la edad.

Cuadro 23. Valores de significancia del efecto de tratamientos en las variables de

Fuente de variación	Edad	Fertilización	Edad X Fertilización	CV ^z %
Diámetro final	< .0001	NS	Ns	11.1
Altura final	<.0001	NS	NS	9.8
Volumen final	<.0001	NS	NS	19.9
Peso de vaina/árbol	<.0001	NS	NS	47.1
Número de vainas/árbol	<.0001	NS	NS	51.4
Peso de semilla/árbol	<.0001	NS	NS	47.8
Número de semillas/vaina	0.0053	NS	NS	11.9
Peso de 200 semillas	<0.0001	NS	NS	14.1
Peso de 50 granos	<.0001	NS	NS	15.5
Porcentaje de aceite	NS	NS	NS	11.4

^z CV=coeficiente de variación

Cuadro 24. Efecto principalz de la edad en las variables del rendimiento.

Fuente de variación	Dos años	Seis años	Pr. F
Diámetro fina (cm)l	4.97	10.04	<.0001***
Altura final (cm)	232.2	315.3	<.0001***
Volumen final (cm ³)	1426	8335	<.0001***
Peso de vaina/árbol (g)l	117.5	587.6	<.0001***
Número de vainas/árbol	43	140	0.003***
Peso de semilla/árbol (g)l	37.3	201.03	<.0001***
Número de semillas/vaina	11	13	0.0053**
Peso de 200 semillas (g)	18.1	27.03	<.0001***
Peso de 50 granos ^y (g)	3.65	5.76	<.0001***
Porcentaje de aceite	36.8	34.8	NS

^z Promedio sin tomar en cuenta la fertilización

^y Semillas sin pericarpio

5.3.2 Efecto de la fertilización

En el efecto principal de la fertilización sobre las variables de rendimiento sólo hubo diferencia significativa ($P < 0.01$) en el peso de 50 semillas sin pericarpio, encontrándose mayor peso en el tratamiento sin fertilización (Cuadro 25). En los resultados se puede observar que en las mediciones de la altura, diámetro en el cuello de la raíz y por ende el volumen, son más altas en los árboles con fertilización, pero, en términos de rendimiento, los pesos son más altos en los árboles sin fertilización. Es posible que los nutrientes aplicados estén promoviendo el desarrollo del crecimiento vegetal en vez de la producción de semilla y aceite.

5.4 Efecto principal de los tratamientos edad y fertilización sobre la concentración de nutrientes.

Se presentaron efectos significativos de los factores edad, fertilización y en la interacción edad x fertilización sobre las variables de concentración nutrimental de las plantaciones de *Moringa oleífera*. En el diagnóstico foliar final se observó

un incremento o descenso en la concentración de ciertos nutrientes. En el Cuadro 26, se muestran los niveles de significancia del efecto de los factores de estudio sobre la concentración de los nutrientes foliares.

El efecto de la edad no fue significativo en la concentración de N, S, Cu, Zn, Fe y Mn esto indica que los árboles de seis años y dos años tienen la misma concentración de estos nutrientes a diferencia del P, K, Ca, Mg y B que presentan diferencias entre las edades. El efecto de la fertilización tuvo efectos altamente significativos (Cuadro 27) como pudo observarse en el diagnostico final, quiere decir que los niveles de fertilización (con y sin fertilización) presentan una fuerte influencia sobre la concentración de los nutrientes foliares. La interacción de la edad con la fertilización muestra diferencias significativas en la concentración de P y S por lo que su demanda está relacionada con los requerimientos de la planta a diferentes edades y por su disponibilidad.

Cuadro 25. Efecto principal de la fertilización sobre el rendimiento de Moringa

Fuente de variación	Con fertilización	Sin fertilización	P ^z
Diámetro final (cm)	8.18	7.83	NS
Altura final (cm)	278.4	269.1	NS
Volumen final (cm ³)	5086	4674	NS
Peso de vaina/árbol (g)	346.5	358.5	NS
Número de vainas/árbol	95.5	87.5	NS
Peso de semilla/árbol (g)	111.6	126.8	NS
Número de semillas/vaina	12	11	NS
Peso de 200 semillas (g)	21.4	23.7	NS
Peso de 50 granos ^y (g)	4.2	5.2	0.01**
Porcentaje de aceite	34	37.6	NS

^z Probabilidad < 0.01 **

^y Peso de semilla sin pericarpio

Cuadro 26. Valores de significancia de los efectos de los tratamientos sobre la concentración nutrimental de Moringa oleífera.

Fuente de variación	Edad	Fertilización	EdadXFertilización	CV %
N	NS	<0.0001	NS	5.9
P	0.036	0.025	0.097	9.5
K	0.08	Ns	NS	29.1
Ca	0.086	0.0032	NS	12.3
Mg	0.015	0.013	NS	25.5
S	NS	0.0004	0.0002	8
Cu	NS	<0.0001	NS	24.7
Zn	NS	<0.0001	NS	26.7
Fe	NS	<0.0001	NS	29
Mn	NS	<0.0001	NS	20.7
B	0.0002	<0.0001	NS	9.3

Resultado del efecto principal de la edad

Los nutrientes afectados por la edad fueron el fósforo, magnesio y boro, el fósforo se presentó en mayor concentración en las plantas de dos años de edad (0.28%) sobre la de seis años (0.25 %) con diferencias significativa ($P < 0.05$). El fósforo está presente en el suelo como H_2PO_4 y como HPO_4^{2-} , estos fosfatos son esenciales para la división celular y para el desarrollo de tejidos meristemáticos, estudios demuestran que las zonas meristemáticas presentan una mayor concentración de fósforo de aquellas que han dejado de dividirse (Foth, 1990). Las plantas más jóvenes tienen una mayor actividad de crecimiento, es posible que almacenen una mayor concentración de fósforo para realizar dicha actividad. En otro aspecto el efecto del fósforo deriva de la interacción entre el desarrollo de las raíces y la parte aérea (Foth, 1990), este es absorbido por las raíces y distribuido por toda la planta, concentrándose en las partes reproductivas (Troeh y Thompson, 2005), las plantas de mayor tienen una mayor actividad reproductora por lo que su concentración puede estar dirigiéndose a estas zonas, encontrándose en menor cantidad en las hojas. El Mg se encontró

significativamente ($P < 0.01$) mayor en las plantas de seis años de edad, este elemento es vital para la fotosíntesis porque todas las moléculas de clorofila lo contienen, por lo que las plantas de mayor edad pueden presentar una mayor actividad fotosintética. El boro presentó una diferencia significativa ($P < 0.01$) siendo mayor en los seis años, lo cual puede deberse a que el boro tiene una relación positiva con el contenido de pectina (Hu *et al.* 1996) la cual puede ser más alta en la pared celular de plantas con mayor edad.

Cuadro 27. Nivel de significancia del efecto de la edad sobre la concentración nutrimental foliar de Moringa.

Fuente de variación	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B
	-----%-----					-----ppm-----					
Dos años	3.94	0.28	1.38	2.31	0.37	1.43	12.8	38.4	247.9	3.5	1646
Seis años	3.78	0.25	1.76	2.09	0.5	1.48	14.6	35.7	250.1	3.5	2015
Pr	NS	0.03	NS	NS	0.01	NS	NS	NS	NS	NS	0.0002

^z Promedio sobre la fertilización de las plantaciones

Efecto principal de la fertilidad

El tratamiento con fertilización (CF) tuvo un efecto significativo en el incremento de los nutrientes aplicados (N, Cu, Zn, Fe, Mn) presentando un antagonismo con el P y Ca ya que estos se presentaron en mayor concentración en el tratamiento sin fertilización (SF) (Alcantar, 2009). Con excepción del K que no presentó diferencias significativas entre los tratamientos. El Ca se presentó en menores concentraciones en los tratamientos sin fertilización por lo que la corrección de pH en los tratamientos (CF) disminuyó su disponibilidad para las plantas (Sierra *et al.* 2007) (Cuadro 28). Para corregir la deficiencia de nutrientes como son Cu, Zn, Fe y Mn, debe tomarse en cuenta el antagonismo con el P y Ca y el efecto de la disminución de pH en suelos alcalinos para evitar que se presente una deficiencia de los mismos. En el diagnóstico inicial se presentó una concentración de 640.47 mg kg⁻¹ de boro en sequía, en el diagnóstico final se mostró un incremento excesivo de 2234 mg kg⁻¹ (temporal). En la literatura se reporta una concentración de 43.93 mg kg⁻¹ (Moyo *et al.* 2011), lo que representa una

probable toxicidad en las plantas con resultados negativos sobre su crecimiento y producción. El efecto de los tratamientos en el boro resultó en una menor concentración en los tratamientos con fertilización, las plantas crecen normalmente con un balance apropiado de Ca y B, a un pH alto y a mayor concentración de Ca se reduce la absorción de boro (Mortvedt *et al.* 1983). Sin embargo, el pH corregido en los tratamientos con fertilización debió incidir en una baja concentración de B a diferencia de los tratamientos sin fertilización que presentaron una concentración mayor. Según Hu y Brown, (1997) la transpiración es un factor que influye en la absorción de boro por la planta, por lo que un incremento en de la temperatura y la intensidad lumínica aumentan su absorción, mientras el incremento de humedad relativa va a provocar un descenso de su absorción, lo que pudo ser consecuencia del riego en los tratamientos con fertilización.

Según Molina y Meléndez (2002) la acumulación de boro en el suelo puede provenir del agua de riego, los rangos de boro aceptables de parámetros de calidad de agua para riego van de 0.2-0.8 mg L⁻¹. El análisis de la muestra de agua para este estudio resultó en 1.2 mg L⁻¹ de boro, característica de zonas áridas, su aplicación en los cultivos puede agravar la acumulación de boro en suelo, por lo que su aplicación debe tomar en cuenta este factor. Sería interesante realizar un estudio sobre el origen de la acumulación de boro en estos suelos y su influencia directa en la Moringa, que puede generar tanto influencia negativa en los componentes del rendimiento como positiva en la disminución de boro en el suelo. Se ha reportado la reducción de boro extraíble del suelo por cuatro especies de plantas en un 52% (Bañuelos *et al.* 1993) por lo que estudios en el nivel de tolerancia y de extracción de boro por la especie de *Moringa oleífera* podrían mostrarnos un efecto fitorremediador de suelos contaminados con boro.

5.5 Efecto de la interacción de edad con fertilización en el rendimiento y concentración de nutrientes

Los efectos de la fertilización en el rendimiento entre los dos y seis años son significativos por el factor edad. Sin embargo la interacción más interesante se debía al efecto de la fertilización dentro de cada edad, en el Cuadro 29 se muestran las significancias de los niveles de fertilización con uno de los niveles de la edad, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos con fertilización (CF) y sin fertilización (SF) para cada edad en las variables de rendimiento, esto puede ser porque existe otro factor que está delimitando el rendimiento, ya que comparado con la literatura (Sharma y Rains, 1982; Ayerza, 2011;2012; Villa-Ramos *et al.* 2013) en condiciones de secano y suelos alcalinos el rendimiento es más alto, estos factores que pueden estar influyendo negativamente en el rendimiento aun teniendo la disponibilidad y translocación de nutrientes adecuado como pueden ser la altura a la que se encuentra la zona, el tipo de suelo con una alta cantidad de arcilla y la alta concentración de boro en el suelo. Los dos primeros factores ya han sido estudiados (Ramachandran *et al.*, 1980), sin embargo, no se ha estudiado el efecto del exceso de boro en el crecimiento y rendimiento de la Moringa. El porcentaje de aceite en la semilla presentó una diferencia significativa, siendo mayor en el tratamiento sin fertilización, para los seis años de edad, esto indica que las plantas de mayor edad son más susceptibles al desbalance de micronutrientes, en especial el exceso de ellos que influyen negativamente en el porcentaje de aceite.

Cuadro 28. Nivel de significancia del efecto de la fertilización en la concentración de nutrimental foliar de Moringa.

Fuente de variación	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B
	-----%-----					-----ppm-----					
Con fertilización	4.22	0.28	1.49	1.99	0.37	1.57	19.84	55.58	393.13	4.36	160.6.
Sin fertilización	3.51	0.25	1.65	2.41	0.5	1.34	7.55	18.44	104.84	2.64	205.4.
Pr	<.0001	0.02	Ns	0.003	0.001	0.0004	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

^z Promedio sobre la edad de las plantaciones

Cuadro 29. Nivel de significancia en la interacción edad con fertilización en el rendimiento.

Fuente de variación	Diámetro final (cm)		Altura final (cm)		Volumen final (cm ³)		Peso de vainas por árbol (g)		Número de vainas por árbol	
	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6
<i>Edad</i> (años)										
<i>Con fertilización</i>	5.16	11.2	239.3	317.4	1603	8569	127.93	565.1	45.93	145.1
<i>Sin fertilización</i>	4.78	10.89	225.0	313.1	1248	8101	107.03	610	39.97	135.1
<i>P. de F</i>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<i>Promedio</i>	3.3	7.3	155.1	210.5	1056	7370	78.7	392.0	29.0	93.7

Continuación....

Fuente de variación	Peso de semilla por árbol (g)		Número de semillas por vaina		Peso de 200 semillas (g)		Peso de 50 granos de semilla (g)		Porcentaje de aceite de semilla	
	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6
<i>Edad (años)</i>										
<i>Con fertilización</i>	44.92	178.2	11	13	17.8	25.06	3.3	5.1	36.9	32.2
<i>Sin fertilización</i>	29.7	223.8	10	12	18.4	29	3.9	6.3	36.7	38.3
<i>P. de F</i>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.05
<i>Promedio</i>	25.2	134.2	7.2	8.7	45.1	18.1	2.6	3.8	24.9	23.5

NS= no significativo a $P < 0.05$

Los efectos de la fertilización en la concentración de nitrógeno fueron significativos en los dos y seis años, el nitrógeno tuvo significativamente ($P < 0.05$) mayor concentración en el tratamiento sin fertilización, para los dos años y en menor concentración para el tratamiento sin fertilización para los seis años (Cuadro 30). Es posible que las plantas de mayor edad puedan acumular más nitrógeno en las hojas y las plantas de dos años lo dirijan a los meristemos para su crecimiento (Troeh y Thompson, 2005). Por otro lado, el pH pudo descender de una forma mayor que en la plantación de seis años por lo que su disponibilidad fue menor en estas plantas (Obreza *et al.* 1998). Para el fósforo se encontró diferencia significativa ($P < 0.059$ entre los niveles de fertilización para la edad de seis años presentándose en una mayor concentración para el tratamiento con fertilización, al tener una mayor disponibilidad de fósforo por la fertilización en conjunto con la intercepción de la raíz, se puede presentar un incremento en la absorción y en menor proporción por el flujo de masas (suponiendo que el

volumen del árbol es proporcional al de la raíz) (Troeh y Thomson, 2005). El magnesio fue significativamente menor en concentración en el tratamiento con fertilización para los seis años, por lo que se presentó un antagonismo con la concentración de Fe. La fertilidad tuvo un efecto significativo siendo mayor en el tratamiento de fertilización para los seis años, el movimiento del azufre está relacionado con el del nitrógeno (Hill, 1980) por lo que al presentar un efecto significativo en la concentración de nitrógeno en la misma edad se presentó un incremento en la concentración de azufre bajo el mismo tratamiento. Los otros nutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn y B) presentaron diferencias significativas en su concentración para los seis y dos años, por lo que el efecto del tratamiento con fertilización tuvo un incremento muy significativo para las dos edades. La corrección de los nutrientes que estaban en deficiencia fue corregida, a excepción del boro que no fue agregado y se presentó en mayor concentración para el tratamiento sin fertilización, la corrección de su disponibilidad radica en la disminución de pH en el suelo.

Cuadro 30. Nivel de significancia en la interacción edad con fertilización sobre la concentración de nutrientes.

Fuente de variación	N		P		K		Ca		Mg		S	
Edad (años)	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6
Con fertilización	4.3	4.1	0.29	0.27	1.27	1.71	2.12	1.86	0.33	0.39	1.42	1.72
Sin fertilización	5.6	3.5	0.28	0.23	1.49	1.81	2.5	2.32	0.4	0.6	1.44	1.26
P. de F	0.0003	0.002	NS	0.03	NS	NS	NS	NS	NS	0.038	NS	<.0001

Continuación...

Fuente de variación	Cu		Zn		Fe		Mn		B	
Edad (años)	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6
Con fertilización	18.24	21.43	56.92	54.2	384.3	402	4.38	4.34	141.6	179.5
Sin fertilización	7.34	7.76	19.81	17.1	111.5	98.2	2.66	2.6	187.4	223.4
P. de F	0.0006	<.0001	0.0001	0.0001	0.0001	<.0001	0.008	0.008	0.003	0.004

5.6 Correlación entre variables del rendimiento y concentración nutrimental

Se presentan las correlaciones entre las variables del rendimiento y las concentraciones nutrimentales (Cuadro 31). El diámetro, altura y volumen final se correlacionaron positivamente con las variables de rendimiento restantes, los árboles con mayor porte tendrán una ramificación mayor y producción de frutos, vainas y semillas a excepción del porcentaje de aceite que no tuvo una correlación significativa ($P < 0.01$) por lo que el contenido de aceite no está relacionado con los componentes de rendimiento del árbol. Por otro lado las variables del volumen del árbol están relacionadas positivamente con el contenido de boro, a mayor volumen, mayor concentración de boro.

Las correlaciones importantes resultaron entre las variables de rendimiento que son completamente dependientes entre ellas.

El porcentaje de aceite presentó una correlación significativa pero negativa con K, S, Fe, Cu, Zn, Mn, N, esto puede deberse al antagonismo que presentan con el Mg, ya que según Ross (2004), el magnesio es el nutriente más importante después del N y K en la producción de aceite en el cultivo de palma de aceite. Se han observado disminuciones considerables en el rendimiento de aceite al aplicar dosis mayores dosis K, un balance entre estos nutrientes (K/Mg) aumenta considerablemente el rendimiento. Considerando de importancia el K para la formación de racimos y el Mg para la formación de aceite, el efecto puede observarse en la correlación positiva del peso de 200 semillas y 50 semillas sin pericarpio con la concentración de Mg y K., por tanto, se recomendaría reducir la aportación de los nutrientes antagónicos y aplicar fertilización foliar de Mg.

El peso de vainas y semillas totales, el peso de 200 semillas y de 50 semillas sin pericarpio por árbol, se correlaciono negativamente con la concentración de P y positivamente con la concentración de Boro. Esto indica que los requerimientos de P por la moringa pueden ser menores.

Se encontró una alta concentración de boro en semillas y vainas y en general en todos los tejidos, ya que se relaciona positivamente con el volumen de las plantas y el peso de las semillas (excepto por el número de vainas y porcentaje de aceite). La correlación positiva del B con estos componentes podría indicar que a mayor volumen, mayor concentración de boro. El exceso de boro puede llevar a una toxicidad en las plantas lo que está limitando su volumen y rendimiento (Albornoz et al. 2007; Lizarazo *et al.* 2013) por las características de la zona, el volumen está relacionado positivamente con el rendimiento por lo que este es un factor limitante para el rendimiento de semilla. El boro se encuentra generalmente asociado a suelos salinos y arcillosos y las fuentes del exceso de boro pueden ser en forma natural en el suelo, fertilizantes, agua de riego o minería, examinar en detalle la fuente de boro puede generar tratamientos más eficientes para disminuir su concentración, como puede ser el lavado de suelos con agua de riego de buena calidad (Ratto *et al.* 1987), sin embargo es una práctica que requiere grandes cantidades de agua lo cual es un factor problema de disponibilidad en zonas áridas, por lo que la fitorremediación puede ser un buen factor de estudio en estas zonas.

El Cu, Fe, Zn, Mn están relacionados positivamente entre ellos por los efectos sinérgicos, mientras el Cu, Fe y Zn negativamente con el Mg, Ca y B por antagonismo. El Mn presentó una correlación positiva con el P y S y negativa con el B por lo que la aplicación de manganeso en los tratamientos disminuyó significativamente su disponibilidad para las plantas. El K mostró una correlación positiva con el Mg por lo que en la fertilización se pueden agregar simultáneamente para aumentar el contenido de aceite. El magnesio presentó una relación positiva con el calcio y boro sin embargo debe tomarse en cuenta el desplazamiento del magnesio en el suelo por el calcio y a su vez una correlación negativa para los nutrientes que fueron aplicados en la fertilización y con los que presenta antagonismo (N, P, K, Fe, Cu, Zn, Mn). El Cu presentó una correlación negativa con el contenido de aceite. El nitrógeno tuvo relación negativa con el P, B, peso de cincuenta semillas sin pericarpio y el contenido de aceite y positiva con el Ca, S, Fe, Cu, Zn, Mn, por lo que su aplicación debe ser en menores

concentraciones para evitar el exceso de estos nutrientes. La época del año de la toma de muestras debe ser considerada para realizar un análisis eficiente para la corrección de nutrientes, el primer muestreo para realizar el diseño de tratamientos se realizó en temporada de sequía por lo que los nutrientes podrían estar acumulados en otros tejidos; Santacruz *et al.* (2004) consideran importante calcular las fluctuaciones en la concentración de nutrientes a través del año para observar el tiempo en donde sean menores y realizar una única toma de muestras foliares en esa época del año.

Cuadro 31. Correlación de los componentes del rendimiento con la concentración de nutrientes foliares

Fuente de variación	Altura final	Vol final	Peso de vaina/árbol	Número de vainas/árbol	Peso de semilla/árbol	Número de semillas/vaina	Peso de 200 semillas	Peso de 50 granos	Porcentaje de aceite	Cu	Zn	Fe	Mn	K	Mg	Nt	Ca	P	B	S
Dímetro final	C.C. 0.91	0.99	0.86	0.77	0.85	0.60	0.84	0.74	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.55	ns
Altura final	C.C. 0.91	0.91	0.81	0.75	0.80	0.60	0.82	0.72	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.49	ns
Vol final	C.C. 0.91	0.91	0.81	0.75	0.80	0.60	0.82	0.72	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.55	ns
Peso de vaina/árbol	C.C. 0.91	0.91	0.81	0.75	0.80	0.60	0.82	0.72	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.45	ns
Número de vainas/árbol	C.C. 0.91	0.91	0.81	0.75	0.80	0.60	0.82	0.72	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.45	ns
Peso de semilla/árbol	C.C. 0.91	0.91	0.81	0.75	0.80	0.60	0.82	0.72	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.45	ns
Número de semillas/vaina	C.C. 0.91	0.91	0.81	0.75	0.80	0.60	0.82	0.72	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.45	ns
Peso de 200 semillas	C.C. 0.91	0.91	0.81	0.75	0.80	0.60	0.82	0.72	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.45	ns
Peso de 50 granos	C.C. 0.91	0.91	0.81	0.75	0.80	0.60	0.82	0.72	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.45	ns
Porcentaje de aceite	C.C. 0.91	0.91	0.81	0.75	0.80	0.60	0.82	0.72	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.45	ns
Cu	C.C. 0.91	0.91	0.81	0.75	0.80	0.60	0.82	0.72	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.45	ns
Zn	C.C. 0.91	0.91	0.81	0.75	0.80	0.60	0.82	0.72	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.45	ns
Fe	C.C. 0.91	0.91	0.81	0.75	0.80	0.60	0.82	0.72	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.45	ns
Mn	C.C. 0.91	0.91	0.81	0.75	0.80	0.60	0.82	0.72	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.45	ns
K	C.C. 0.91	0.91	0.81	0.75	0.80	0.60	0.82	0.72	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.45	ns
Mg	C.C. 0.91	0.91	0.81	0.75	0.80	0.60	0.82	0.72	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.45	ns
Nt	C.C. 0.91	0.91	0.81	0.75	0.80	0.60	0.82	0.72	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.45	ns
Ca	C.C. 0.91	0.91	0.81	0.75	0.80	0.60	0.82	0.72	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.45	ns
P	C.C. 0.91	0.91	0.81	0.75	0.80	0.60	0.82	0.72	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.45	ns
Bo	C.C. 0.91	0.91	0.81	0.75	0.80	0.60	0.82	0.72	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.45	ns

6. CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que las plantaciones de moringa se desarrollan en suelos medianamente alcalinos, con niveles medios a altos de N, P, Ca, Mg y K, y muy alto en B y, niveles deficientes en Fe y Zn en ambas plantaciones. La compactación del suelo influyó negativamente en el drenaje y fue una limitante para el crecimiento de raíces y absorción de agua y nutrientes por el cultivo.

Con base en las variables de calidad el agua de riego se clasificó como de calidad media, con alta concentración de sodio y de boro, característica común en las zonas áridas. Sin embargo, en la zona de estudio no se recomienda su uso debido a las características del suelo y la alta concentración de boro que podría agravarse con efectos negativos en la producción.

El diagnóstico inicial foliar mediante los índices de balance Kenworthy, indicó que ambas plantaciones se encontraban deficientes en P, K, Fe y Cu, esto debido al pH alcalino y alta concentración de calcio en el suelo, factores que se encuentran limitando la disponibilidad de estos nutrientes para el cultivo en la zona de estudio,

El diagnóstico foliar final mostró que con los tratamientos de fertilización al suelo y foliar se corrigieron las deficiencias nutrimentales iniciales pero, aumentaron a la categoría de exceso N, S, Fe, Mn, Zn y Cu. Asimismo, la fertilización tuvo efectos significativos sobre la concentración nutrimental, presentándose el fenómeno de antagonismo, es decir, la fertilización llevó a niveles de exceso N, S, Fe, Mn, Zn y Cu mientras que el Ca, Mg y K se relacionaron con la producción de aceite.

La fertilización no presentó efectos significativos en los componentes del rendimiento, con excepción del contenido de aceite, que resultó ser mayor en los tratamientos sin fertilización. El exceso de N, S, Fe, Zn y Cu en el tejido vegetal en los árboles fertilizados se correlacionó negativamente con el contenido de aceite.

La edad de la plantación influyó en la concentración nutrimental foliar, ya que la de dos años presentó mayor concentración de P en el tejido, indicativo de un mayor requerimiento para el crecimiento vegetativo. En tanto que Mg y B se encontraron en más alta concentración en plantas de seis años, debido a la productividad del cultivo que demanda mayor cantidad de estos nutrientes. Las plantas de dos años de edad presentaron significativamente menor rendimiento (87%) de vainas y semilla, mientras el contenido de aceite no presentó diferencia significativa entre edades.

En la interacción de factores se encontró que las plantas de seis años fueron más susceptibles al desbalance de micronutrientes, principalmente al exceso, reduciendo el contenido de aceite.

Por otro lado, la concentración de boro se correlacionó positivamente con el volumen de los árboles, pero al parecer antagonizó con N, P, Cu, Zn, Fe y Mn por efecto de la fertilización.

7. LITERATURA CITADA

- Abdalla, M. 2013. The potential of *Moringa oleífera* extract as bioestimulant in enhancing the growth, biochemical and hormonal contents in rocket (*Eruca vesicaria subs. sativa*) plants. International Journal of Plant Physiology and Biochemistry. Cairo, Egypt. 5(3): 42-49
- Achten, W.M., L. Verchot, Y. J. Franken, E. Mathijs, V.P. Singh, R, Aerts and B. Muys. 2008. Jatropha bio-diesel product and use. Biomass and Bioenergy. 32(12):1063-1084.
- Albornoz, F., A. Torres, M. L. Tapia y E. Acevedo. 2007. Cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) hidropónico con agua desalinizada y desborificada en el valle de LLuta. Idesia, Arica. 25(2): 73-80
- Alcantar G., G. y L. Trejo T. 2009. Nutrición de cultivos. Ediciones Mundi Prensa. Colegio de Posgraduados. México D.F. Pp: 202-353.
- Alfaro, V. N. y W. Wilfredo M. 2008. Uso potencial (*Moringa oleífera* Lam) para la Producción de Alimentos Nutricionalmente Mejorados. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. Guatemala. 30 p.
- Amaglo, N. K., R. N. Bennett, R. B. Lo Curto, E. A. S. Rosa, V. Lo Turco, A. Giuffrida, A. Lo Curto, F. Crea and G. M. Timpo. 2010. Profiling selecto phytochemicals and nutrients in different tissues of the multipurpose tree *Moringa oleífera* L. grown in Ghana. ELSEVIER. Food Chemistry. 122(12) 1047-1054.
- Anwar, F. A. Abdullah H., M Ashraf, A. Jamail and S. Iqbal. 2006. Effect of salinity and quality of *Moringa oleífera* seed oil. Grasas y aceites. 57(4): 394-401
- Anwar, F. and U. Rashid. 2007. Physico-chemical characteristics of *Moringa oleífera* sedes and seed oil from a wild provenance of Pakistan. Pakistan Journal Botany. 39(5): 1443-1453.

- Arboleda, C., J. Arcila y R. Martínez. 1988. Sistema integrado de recomendación y diagnóstico. Una alternativa para la interpretación de resultados del análisis foliar en café. *Agronomía Colombiana* 5: 17-30
- Ayerza, R. 2011. Seed and oil yields of *Moringa oleífera* variety Periyakalum-1 introduced for oil production in four ecosystem of South America. *ELSEVIER. Industrial Crops and Products*. 36(2012): 70-73.
- Ayerza, R. 2012. Seed yield components, oil content, and fatty acid composition of two cultivars of moringa (*Moringa oleífera* Lam) growing in the Arid Chaco Argentina. *Industrial Crops and Products*. 33(2):389-394).
- Bañuelos, G.S., G. Cardon, J. Ben-Asher, L. Wu, P. Beuselinck, S. Akohoue and S. Zambruski. 1993. Boron and selenium removal in boron-laden soils by four sprinkler irrigates plant species. 22(4): 786-792.
- Barber, S. A. 1980. Soil-Plant interactions in the Phosphorus Nutrition of Plants. American Society of Agronomy, Crop Science of America, Soil Science of America. Pp: 591-615.
- Balmaseda E., C. y H. García. 2013. Calidad de las aguas de la cuenca del río Naranjo, Municipio Majibacoa, Provincia de las tunas para el riego. *Cultivos Tropicales*. Ministerio de educación superior Cuba. 34(49): 68-73.
- Becker, B. and K. Nair P. 2004. Cultivation of medicinal plants in an alley cropping system with *Moringa oleífera* in the United States Virgin Islands. World Congress of Agroforestry, Orlando, Florida, USA. Pp 30.
- Black C., A. 1968. Plant relationships. Second edition. John Wiley and Sons. Department Agronomy Iowa State University Ames, Iowa. Pp: 104-401.
- Both, F. E. M. y G. Wickens. 1988. Non-timber uses of selected arid zone trees and shrubs in Africa. FAO. Roma. Disponible en: [<http://www.fao.org/docrep/006/T0044E/T0044e16.htm>] [Junio 2013].
- Busani, M., M. J. Patrick, H. Arnold and V. Muchenje. Nutritional characterization of *Moringa* (*Moringa oleífera* Lam.) leaves. *African Journal of Biotechnology*. 10(60): 12925-12933

- CONACYT-CONAFOR. 2002. Manual de colecta, identificación, registro y certificación de fuentes de germoplasma de las especies de la vegetación secundaria potenciales de manejo de la Reserve Ecológica El Edén A.C. Disponible en: [[http://reservaeleden.org.mx/investigacion/restauracion/Jose %20Maria/Manual%20colecta,%20identificacion.pdf](http://reservaeleden.org.mx/investigacion/restauracion/Jose%20Maria/Manual%20colecta,%20identificacion.pdf)] [agosto 2013].
- Culver, M., T. Fanuel and A. Z. Chiteka. 2012. Effect of Moringa Extracto n Growth and Yield of Tomato. Greener Journal of Agricultural Sciences. 2(5):207-211.
- Del Toro, J., A. Caballo H. y L. Rocha R. 2011. Valoración de las propiedades nutricionales de *Moringa oleífera* en el departamento de Bolívar. Revista de Ciencias, Universidad de Ciencias Naturales y Exactas. 23-30 p.
- Falasca, S. y M. Bernabé. 2008. Potenciales usos y delimitación del área de cultivo de Moringa oleifera en Argentina. Redesma. Disponible en: [<http://revistavirtual.redesma.org/vol3/pdf/investigacion/Moringa.pdf>] [Marzo 2014]
- FAO-IFA. 2002. Los fertilizantes y su uso. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Cuarta edición. Roma. 77 p.
- Farooq, A., M. I. Bhanger. 2003. Analytical Characterization of Moringa oleífera Seed Oil Grown in Temperate Regions of Pakistan. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 51(22): 6558-6563.
- Ferreira, P.M., F. Farias F., J. Oliveira T. and A. Uralo de F. 2008. Moringa oleífera: bioactive compounds and nutritional potencial. Revista de Nutricao. 21(4): 431-437
- Foth, H. 1990. Fundamentos de la ciencia del suelo. A. Marino A. Trans Edition, Inc, a división of John Wiley and Sons, Inc. Pp: 88-150
- Foild, N., S.P. Makkar H. and K. Becker. 2001. The potential of Moringa oleífera for agricultural and industrial uses. Second edition. Managua, Nicaragua. Disponible en: [[http://www.moringatrees.org/moringa-](http://www.moringatrees.org/moringa-doc/) doc/

the_potential_of_moringa_oleifera_for_agricultural_and_industrial_uses.pdf] [marzo 2013]

- Foidl, N., L. Mayorga y W. Cásquez. 2003. Utilización del marango (*Moringa oleífera*) como forraje fresco para ganado. Conferencia electrónica de la FAO sobre “Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica”. Disponible en: [<http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/agrofor1/Foidl16.htm>] [agosto 2013].
- Folkard, G. y J. Sutherland. 1996. *Moringa oleífera* un árbol con enormes potencialidades. Avances de Investigación, Agroforestería en las Américas. 8(3): 23-27.
- Francis, J., K.; Liogier, A. Henri. 1991. Naturalized exotic tree species in Puerto Rico. General Technic Report. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 12 p.
- García D., E., M. Medina G., P. Moratinos, J. Cova L., A. Torres, O. Santos y D. Perdomo. 2009. Caracterización químico nutricional de forrajes leguminosos y de otras familias botánicas empleando análisis descriptivo y multivariado. Avances en Investigación Agropecuaria. 13(2): 25-39
- García, E. CONABIO. 1998. Climas (Clasificación de Köppen, modificado por García), Escala 1:1 000 000. México
- García T., A. G., R. K. Martínez C. e I. A. Rodríguez D. 2013. Evaluación de los usos potenciales del Tebereintio (*Moringa oleífera*) como generador de materia prima para la industria química. Tesis de Profesional. Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos. 138 p.
- Ghazanfar, S., A. Latif, I. Hussain M. and A. Nadeem. 2011. Macro-Minerals Concentrations of Major Fodder Tree Leaves and Shrubs of District Chakwal, Pakistan. Pakistan Journal of Nutrition. 10 (5): 480:484
- Herrera Z., R. R. 2012. Composición bromatológica, potencial nutritivo y contenido de factores tóxicos, entre las hojas de diferentes cepas de

- (*Moringa oleífera*) que se cultivan en el país. Tesis profesional Universidad Autónoma de México, Facultad de Química. 86 p.
- Hill, J. 1980. The remobilization of nutrients from leaves. *Journal Plant Nutrition*. 2(4): 407-444
- Hu, H., P. H. Brown and M. Labavitch. 1996. Species variability in boron requirements is correlated with cell Wall pectin. *Journal of Experimental Botany*. 47(22): 227-232.
- Hu, H. and Brown, P.H. 2007. Absorption of boron by plants roots. *Plant and Soil*. 193: 48-58. Disponible en: [<http://link.springer.com/article/10.1023/A:1004255707413#page-1>] [marzo 2015].
- Horwitz W. 1998. *Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist*. 16th Edition, Wisconsin, USA. 1018 p.
- INIFAP. 2010. Alternativas Agroforestales para la Reconversión de Suelos Forestales. Disponible en: [<http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1293/ALTERNATIVAS%20AGROFORESTALES%20PARA%20RECONVERSION%20DE%20SUELOS%20FORESTALES.pdf?sequence=1>] [Junio 2014].
- Jama, Bashir; Nair, P.K.R.; Kurira, P.W. 1989. Comparative growth performance of some multipurpose trees and shrubs grown at Machakos, Kenya. *Agroforestry Systems*. 9(1): 17-27.
- Jones, B.J. and B. Wolf. 1984. Manual soil testing procedure using modified (Wolf) Morgan extracting reagent. Benton Laboratories Inc. Athens, Georgia, USA. Pp: 5-8.
- Kenworthy, A. L. 1961. Interpreting the balance of nutrient-elements in leaves and fruit trees. In: REUTHER, W Plant Analysis and fertilizer problems. Washington, American Institute of Biological Science. 28-43 p.
- Legaz, F., M.D. Serna., P. Ferrer, V. Cebolla y E. Primo-Millo. 1995. Análisis de hojas, suelos y aguas para el diagnóstico nutricional de plantaciones de cítricos. Procedimiento de toma de muestras. Generalitat Valenciana,

- Conselleria d'Agricultura, Pesca i Alimentació. Valencia. 26 p. Consultado en: (<http://www.ivia.es/otri/pdf/hojas/ AnalisisMin.pdf>) [abril 2014]
- Kenworthy, A. L. 1961. Interpreting the balance of nutrient-elements in leaves of fruit trees. In: REUTHER, W. Plant Analysis and fertilizers problems. Washington, American Institute of Biological Science. 28 – 43p.
- Kleiman R., D. Ashley and J. H. Brown. 2008. Comparasion of two seed oils used in cosmetics, moringa and marula. Industrial Crops and Products. 28 (3) 361-364.
- Legaz, F., M.D. Serna., P. Ferrer, V. Cebolla y E. Primo-Millo. 1995. Análisis de hojas, suelos y aguas para el diagnóstico nutricional de plantaciones de cítricos. Procedimiento de toma de muestras. Generalitat Valenciana, Conselleria d'Agricultura, Pesca i Alimentació. Valencia. 26 p. Consultado en: [<http://www.ivia.es/otri/pdf/hojas/ AnalisisMin.pdf>] [abril 2014].
- Lizarazo M., A., C. A.Hernández; G. Fischer y M. I. Gómez. 2013. Biomasa y parámetros foliares y sintomáticos en respuesta a diferentes niveles de manganeso, zinc y boro en curuba (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*). Revista colombiana de Ciencias Hortícolas. 78(1): 31-45.
- Liu, Y., S. L. Bai, Y. Zhu, G.L. Li y P. Jiang. 2012. Promoting seedling stress resistance through nursery techniques in China. New Forest. 43(5):639-649.
- Makkar, H.P.S. and K. Becker. 1996. Nutritional value and antinutritional components of whole and etanol extracted *Moringa oleífera* leaves. Animal Feed Science Technology. 63(1-4): 211-228
- Mani, S., S. Jaya and R. Vadivambal. 2007. Optimization of Solvent Extraction of Moringa (*Moringa oleífera*) Seed Kernel Oil Using Response Surface Methology. Food and Bioproducts Procesing. 85(4):328-335.
- Martinez M., J., J. Cavazos R. y S. Sampayo M. 2010. Moringa (*Moringa oleífera* LAM.), Árbol multipropósito con potencial para Nuevo León, México. In Reunión Nacional de Innovación Forestal (Compiladores) J. A. Prieto R, R.

- E. Madrid A., L. V. Macías G. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias y Pecuarias. Campeche, México. 69 p.
- Medina, M. G., D. García, T. Clavero y J. Iglesias. 2007. Estudio comparativo de *Moringa oleifera* y *Leucaena leucocephala* durante la germinación y la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnica Tropical*. 25(2):83-93.
- Moroto, L. O., E. Cruz, E. Francaise, V. Drieshe, S. Breckmans, M. J. Manso, L. Lazo, C. Ríos y J. M. Machado. 2000. *Moringa oleifera* Lam. (Pterigosperma): Consideraciones sobre la presencia de lectinas. Memorias IV Taller Internacional Silvopastoril "Los árboles y Arbustos en la ganadería Tropical". Tomo I. Pastos y Forrajes "Indio Hatuey", Matanzas, Cuba. Pp. 215-217.
- Munevar M.F. 2001. Fertilización de la palma de aceite para obtener altos rendimientos. *Revista Palmas Norteamérica*. 22(4): 9-17 Disponible en: [<http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/888/888>] [Enero 2014]
- Nasir, E.; Ali, S.I. 1972. Flora of West Pakistan: an annotated catalogue of the vascular plants of West Pakistan and Kashmir. Karachi, Pakistan: Fakhri Printing Press. 1028 p.
- Nouman W., M.T. Siddiqui, S.M.A. Basra, R.A. Khan T. Gull, M.E. Olson and H. Munir. 2012. Response of *Moringa oleifera* to saline conditions. *International Journal of Agriculture and Biology*. 14 (5): 757-762.
- Obreza, A.T., M. Zekri and D. V. Calvert. 1993. Citrus fertilizer management on calcareous soils. University of Florida. Gainesville, FL. Consultado en: (<http://edis.ifas.ufl.edu/ch086>) [enero 2015].
- Olson, M. E. y J. Fahey W. 2011. *Moringa oleifera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 82(4):1071-1082.

- Parrota, J. 1993. *Moringa oleífera* Lam. Resedá, horseradish tree. New Orleans, L.A: US. Departament of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 6p.
- Pérez, A., T. Sánchez, N. Armengol y F. Reyes. 2010. Características y potencialidades de *Moringa oleífera*, Lamark. Una alternativa para la alimentación animal. *Pastos y Forrajes*. 33(4): 1-16
- Pérez, A. R. 2010. Avanza validación de moringa como alternativa forrajera para ovinos. Fundación Produce Sinaloa, México. Disponible en: [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] [junio 2013].
- Petit, S. J., f. Casanova L. y F. Solorio S. 2010. Rendimiento de forraje de *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleífera* asociadas y en monocultivo en un banco de forraje. *Revista Forestal Venezolana*. 54 (2): 161-117
- Pita-Hernández, A. y E. G. Quiñones. 2012. Efecto de *Glomus fasciculatum* en la nutrición de *Moringa oleífera* Lam. *Avances*. Centro de Información Tecnológica del Río, Cuba. 14(3): 241-250
- Pinheiro, F. P., F. F. Farias, J. T. Oliveira and A. U. Carvalho. 2008. *Moringa oleífera*: bioactive compounds and nutritional potential. *Revista nutrição*, Campinas. 21(4):431-437.
- Ramachandran, C.; Peter, K.V.; Gopalakrishnan, P.K. 1980. Drumstick (*Moringa oleífera*): a multipurpose Indian vegetable. *Economic Botany*. 34(3): 276-283.
- Rashid U., F. Anwar, M. Ashraf, M. Saleem and S. Yusup. 2011. Application of response surface methology for optimizing transesterification of *Moringa oleífera* oil: Biodisel production. *Energy Conversion and Management*. 52(8-9): 3034-3042.

- Rodríguez T, D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Universidad Autónoma Chapingo, Mundi Prensa. México. 156 p.
- Roloff, A., H. Weisgerber, U. Lang and B. Srimm. 2009. *Moringa oleífera* Lam., 1785. Enzyklopädie der Holzgewächse. Disponible en: [http://www.wiley-vch.de/books/sample/3527321411_kap1.pdf] [diciembre 2015]
- Ross, M. 2007. Importancia del magnesio para rendimientos sostenibles en palma de aceite. *Revista Palmas*. 25 (2004): 98-104
- Russel, E. J. 1989. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel. Eleventh edition. Longman Group UK Limited, London. Pp: 73-200
- Santacruz L., J., A. Cristancho y F. Munevar. 2004. Variación temporal de los niveles de nutrientes y su relación con la fertilización, la lluvia y el rendimiento de (*Elaeis guineensis* Jack.) en la planeación Guicaramo (Meta, Colombia). *Revista Palmas*. 5(3): 160-169.
- Sharma, G.K. y V. Rains. 1982. Propagation techniques of *Moringa oleífera* Lam. In improvement of forest biomass. Khosia P.K. ed. Proceedings of a Symposium. Indian Society of Tree Scientist Solan India. 175 p.
- Troeh, F. and L. Thompson M. 2005. Soils and soil fertility. Sexta edición. Wiley Blackwell, Ames Iowa. Oxford. Pp: 250-415.
- Villa-Ramos, I., J. Fernández-Olano y J. Díez-Núñez. 2013. Evaluación de enmiendas orgánicas en la producción de semillas de *Moringa oleífera*. Innovación Tecnológica. Número especial dedicado a la Ciencia Cubana. Pp 1-12. Consultado en: [<http://innovaciontec.idict.cu/index.php/innovacion/article/view/271>] [Abril 2014].
- SAGARPA. 1995. Cortinas Rompevientos. López T. G. Disponible en: [<http://www.sagarpa.gob.mx/ desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Sistemas%20Agroforestales.pdf>] [Mayo 2013]
- Sánchez, M. 2004. Aplicación de floculantes naturales a la potabilización de aguas. Universidad Extremadura. Departamento de Ingeniería química y energética. 96 p.

- Sierra C., A. Lancellotti M. e I. Vidal P. 2007. Azufre elemental como corrector de pH y la fertilidad de algunos suelos de la III y IV región de Chile. *Agricultura Técnica*. 62 (2): 173-181
- Solorio, F. J. y B. Solorio. 2002. Integrating fodder trees in to animal production system in the tropics. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 1(1): 1-11.
- Summer, M. E. y F.C. Boswell.1981. Alleviating nutrient stress. In: G.F. Arking y H.M. Taylor. *Modifying the root environment to reduce crops stress*. American Society of Agricultural. 407 p.
- Taiz L. y E. Zeiger. 2006. *Plant physiology*. Sinauer Associates, Inc. Third edition. Universitat Jaume I. Publicacions. Suderland, M.A. U.S.A. 117-124 p.
- Tsaknis, J., V. Spiliotis, A. Lalas, V. Vlasis and V. Dourtoglou. 1999. Quality changes of *Moringa oleífera*, variety Mbololo of Kenya, seed oil during frying. *Grasas y Aceites*. 50(1):37-48.
- Da Silva J., T. M. Serra, M. Gossmann, C. R. Wolf, M. R. Meneghetti and S. M. P. Meneghetti. 2010. *Moringa oleífera* oil: Studies of characterization and biodiesel production. *Biomass and Bioenergy*. 34(10):1527-1530.
- Vlahov, G., P. Kripono C. and P. K. Ndalut. 2002. ¹³C NMR Characterization of Triacylglycerols of *Moringa oleífera* Seed oil: An "Oleic-Vaccenic Acid" Oil. *Journal of Africultural and Food Chemistry*. 50: 970-975
- Zayed, S. M. Improvement of growth and nutritional quality of *Moringa oleífera* using different biofertilizers. *Annals of Agricultural Science*. Egipto. 57(1): 53-62

Anexo 1. Datos de altura y diámetro del cuello de la raíz inicial de todos los árboles de Moringa pertenecientes al Lote 1 (6años de edad) en la Huerta Calvariotitla.

Ejemplar	CT ^z	T ^y	AI1 ^x (cm)	DCR1 ^w (mm)	Ejemplar	CT	T	AI1 (cm)	DCR1 (mm)
L1H1-01	Ch	ST	77	35.88	L1H8-10	M	CF	338	122.51
L1H1-02	Ch	ST	130	31.39	L1H8-11	M	CF	336	121.66
L1H1-03	M	B	261	40.1	L1H8-12	Ch	CF	183	44.09
L1H1-04	Ch	CF	188	71.77	L1H8-13	Ch	CF	48	9.41
L1H1-05	M	CF	233	71.65	L1H8-14	Ch	CF	85	62.73
L1H1-06	Ch	CF	162	22.69	L1H8-15	R	R	R	R
L1H1-07	M	CF	274	123.76	L1H8-16	Ch	CF	167	28.8
L1H1-08	R	R	R	R	L1H9-01	Ch	ST	74	50.08
L1H1-09	M	CF	295	94.86	L1H9-02	Ch	ST	49	10.77
L1H1-10	Ch	CF	183	24.95	L1H9-03	Ch	ST	42	11.97
L1H1-11	R	R	R	R	L1H9-04	M	B	346	110.32
L1H1-12	R	R	R	R	L1H9-05	Ch	ST	127.5	91.1
L1H1-13	Ch	CF	77	20.05	L1H9-06	M	CF	322	88.24
L1H1-14	R	R	R	R	L1H9-07	M	CF	303	90.02
L1H2-01	Ch	ST	197	53.02	L1H9-08	Ch	ST	56	21.96
L1H2-02	Ch	ST	57	11.29	L1H9-09	R	R	R	R
L1H2-03	Ch	ST	74	17.36	L1H9-10	M	CF	249	114.47
L1H2-04	Ch	ST	105	35.03	L1H9-11	Ch	ST	124	59.43
L1H2-05	R	R	R	R	L1H9-12	R	R	R	R
L1H2-06	R	R	R	R	L1H10-01	Ch	ST	111	21.44
L1H2-07	R	R	R	R	L1H10-02	R	R	R	R
L1H2-08	M	T	336	58.08	L1H10-03	Ch	ST	107	24.13
L1H2-09	Ch	ST	46	9.88	L1H10-04	M	CF	384	100.69
L1H2-10	M	T	283	51.75	L1H10-05	M	CF	358	174.23
L1H2-11	Ch	ST	49	11.5	L1H10-06	Ch	CF	173.5	76
L1H2-12	Ch	T	160	42.1	L1H10-07	R	R	R	R
L1H2-13	Ch	ST	67	19.72	L1H10-08	Ch	CF	80	26.92
L1H2-14	M	T	225	81.92	L1H10-09	R	R	R	R
L1H2-15	R	R	R	R	L1H11-01	Ch	ST	124	32.68
L1H2-16	R	R	R	R	L1H11-02	M	B	300	144.95
L1H3-01	M	B	320	56.05	L1H11-03	R	R	R	R
L1H3-02	Ch	ST	71	16.83	L1H11-04	R	R	R	R

Continuación...

Ejemplar	CT ^z	T ^y	AI1 ^x (cm)	DCR1 ^w (mm)	Ejemplar	CT	T	AI1 (cm)	DCR1 (mm)
L1H3-03	M	B	316	114.13	L1H11-05	R	R	R	R
L1H3-04	M	B	271	87.95	L1H11-06	R	R	R	R
L1H3-05	Ch	ST	53	15.8	L1H11-07	Ch	M	78	15.18
L1H3-06	M	T	280	111.05	L1H11-08	R	R	R	R
L1H3-07	Ch	T	148	67.22	L1H12-01	Ch	ST	85	61.93
L1H3-08	M	T	260	116.84	L1H12-02	R	R	R	R
L1H3-09	M	T	271	104.72	L1H12-03	M	B	357	122.51
L1H3-10	Ch	ST	173	27.55	L1H12-04	R	R	R	R
L1H3-11	M	T	355	177.66	L1H12-05	Ch	CF	60	13.1
L1H3-12	Ch	T	138	41.9	L1H12-06	Ch	CF	158.5	69.13
L1H3-13	Ch	T	153	89.03	L1H12-07	Ch	CF	76	25
L1H3-14	Ch	ST	173	64.61	L1H12-08	Ch	CF	187	34.91
L1H3-15	Ch	T	96	49.25	L1H13-01	Ch	ST	67	37.22
L1H3-16	R	R	R	R	L1H13-02	M	B	345	107.43
L1H4-01	R	R	R	R	L1H13-03	M	B	273	89.28
L1H4-02	R	R	R	R	L1H13-04	R	R	R	R
L1H4-03	Ch	ST	93	35.94	L1H13-05	Ch	CF	83	23.85
L1H4-04	M	B	296	99.57	L1H13-06	R	R	R	R
L1H4-05	Ch	ST	0		L1H13-07	Ch	ST	28.5	7.8
L1H4-06	M	CF	280	111.13	L1H13-08	Ch	CF	104.5	17
L1H4-07	M	CF	310	98.92	L1H13-09	R	R	R	R
L1H4-08	M	CF	307.5	77.63	L1H13-10	R	R	R	R
L1H4-09	M	CF	319	94.39	L1H13-11	Ch	ST	79	19.2
L1H4-10	Ch	CF	220	44.24	L1H13-12	R	R	R	R
L1H4-11	M	CF	325	106.1	L1H14-01	Ch	ST	80.75	38.18
L1H4-12	Ch	CF	113	39.19	L1H14-02	R	R	R	R
L1H4-13	M	CF	215	59.03	L1H14-03	Ch	ST	141	17.52
L1H4-14	R	R	R	R	L1H14-04	M	B	380	114.9
L1H5-01	M	B	206	105.48	L1H14-05	Ch	ST	29	8.94
L1H5-02	Ch	ST	97	24.12	L1H14-06	Ch	ST	14	5.22
L1H5-03	M	B	291	90.6	L1H14-07	Ch	CF	83	20.47
L1H5-04	M	B	288.5	101.06	L1H14-08	Ch	CF	R	R
L1H5-05	M	B	353	97.16	L1H14-09	R	R	R	R

Continuación...

Ejemplar	CT ^z	T ^y	AI1 ^x (cm)	DCR1 ^w (mm)	Ejemplar	CT	T	AI1 (cm)	DCR1 (mm)
L1H5-06	M	CF	326	153.35	L1H14-10	R	R	R	R
L1H5-07	M	CF	255	101.5	L1H14-11	Ch	CF	79.5	26.62
L1H5-08	Ch	CF	120.5	42.35	L1H14-12	R	R	R	R
L1H5-09	M	CF	297	107.34	L1H14-13	M	CF	355	79.71
L1H5-10	M	CF	384	153.36	L1H15-01	Ch	ST	81	19.82
L1H5-11	R	R	R	R	L1H15-02	Ch	ST	130	17.69
L1H5-11	R	R	R	R	L1H15-03	M	B	248	64.57
L1H5-12	R	R	R	R	L1H15-04	Ch	ST	35	8.01
L1H5-13	M	CF	242	118.04	L1H15-05	R	R	R	R
L1H5-14	Ch	CF	144.5	53.38	L1H15-06	M	M	302	56.22
L1H6-01	M	B	300	53.9	L1H15-07	Ch	ST	51	13.07
L1H6-02	M	B	330	99.93	L1H15-08	R	R	R	R
L1H6-03	M	B	267	46.02	L1H15-09	R	R	R	R
L1H6-04	M	B	280	76.19	L1H15-10	R	R	R	R
L1H6-05	R	R	R	R	L1H15-11	R	R	R	R
L1H6-06	Ch	CF	169	64.19	L1H15-12	M	CF	370	204.65
L1H6-07	M	CF	293	113.19	L1H16-01	Ch	ST	137	32.89
L1H6-08	Ch	ST	120	47.36	L1H16-02	M	B	321	79.21
L1H6-09	R	R	R	R	L1H16-03	Ch	ST	51	21.01
L1H6-10	M	CF	365	89.79	L1H16-04	M	B	359	105.19
L1H6-11	R	R	R	R	L1H16-05	Ch	ST	20	7.93
L1H6-12	Ch	ST	36	24.92	L1H16-06	R	R	R	R
L1H6-13	M	CF	340	75.45	L1H16-07	R	R	R	R
L1H6-14	R	R	R	R	L1H16-08	M	CF	386	137.48
L1H6-15	M	CF	267	108.97	L1H16-09	R	R	R	R
L1H6-16	Ch	ST	81	41.57	L1H16-10	M	CF	353	118.15
L1H6-17	Ch	ST	126	44.53	L1H16-11	CH	ST	132	13.18
L1H7-01	M	B	212	79.02	L1H16-12	M	CF	444	143.11
L1H7-02	M	B	226	92.33	L1H17-01	Ch	ST	16.5	11.59
L1H7-03	R	R	R	R	L1H17-02	M	B	319	74.7
L1H7-04	M	B	307	121.72	L1H17-03	M	B	427	106.96
L1H7-05	Ch	ST			L1H17-04	M	CF	400	124.59
L1H7-06	R	R	R	R	L1H17-05	M	CF	394	98.51

Continuación...

Ejemplar	CT ^z	T ^y	AI1 ^x (cm)	DCR1 ^w (mm)	Ejemplar	CT	T	AI1 (cm)	DCR1 (mm)
L1H7-07	M	CF	360	105.42	L1H17-06	R	R	R	R
L1H7-08	M	CF	388	122.5	L1H17-07	M	CF	365	103.37
L1H7-09	Ch	CF	65	44.82	L1H18-01	R	R	R	R
L1H7-10	Ch	CF	152	34.34	L1H18-02	R	R	R	R
L1H7-11	M	CF	324	127.59	L1H18-03	R	R	R	R
L1H7-12	Ch	ST	200	35.94	L1H18-04	R	R	R	R
L1H7-13	R	R	R	R	L1H18-05	R	R	R	R
L1H8-01	Ch	ST	124	28.28	L1H18-06	R	R	R	R
L1H8-02	M	B	363	130.68	L1H18-07	Ch	CF	143	29.39
L1H8-03	R	R	R	R	L1H19-01	R	R	R	R
L1H8-04	M	B	329	87.89	L1H19-02	M	B	336	98.4
L1H8-05	Ch	ST	59	12.66	L1H19-03	R	R	R	R
L1H8-06	M	CF	223	139.01	L1H19-04	R	R	R	R
L1H8-07	R	R	R	R	L1H19-05	Ch	ST	131	20.97
L1H8-08	M	CF	370	99.69	L1H19-06	M	CF	319	102.68
L1H8-09	Ch	CF	193	28.09	L1H19-07	R	R	R	R

CT^z=Clasificación de tamaño: Ch (chico) y M (mediano); Tr^y=Tratamiento: ST (sin tratamiento), B (blanco, sin fertilización), CF (con fertilización), R (replantación); AI1^x (altura inicial); DCR1^w (diámetro del cuello de la raíz).

Anexo 2. Datos de altura y diámetro del cuello de raíz iniciales de todos los árboles de moringa en el Lote 2 (dos años de edad) de la Huerta Calvariotitla.

Ejemplar	CT ^z	Tr ^v	AI1 ^x	DCR1 ^w	Ejemplar	CT	T	AI1	DCR1
L2H1-01	M	B	201	41.56	L2H6-05	M	T	217	38.32
L2H1-02	Ch	ST	83	12.5	L2H7-01	M	T	275	55.17
L2H1-03	M	B	151	33.6	L2H7-02	R	R		R
L2H1-04	M	B	muerto		L2H7-03	M	M	143	30.28
L2H1-05	Ch	ST	66	12.2	L2H7-04	R	M	160	28.88
L2H2-01	M	B	127	31.86	L2H7-05	M	M	155	40.93
L2H2-02	R	R	R	R	L2H8-01	M	T	264	51.71
L2H2-03	M	B	228	53.14	L2H8-02	M	T	237	42.2
L2H2-04	Ch	ST	24	7.14	L2H8-03	M	T	202	57.71
L2H2-05	M	B	254	45.39	L2H8-04	R	R	R	R
L2H2-06	M	B	136	26.78	L2H8-05	M	T	151	33.37
L2H3-01	Ch	ST	76	26.11	L2H9-01	M	T	308	53.97
L2H3-02	M	B	180.5	40.85	L2H9-02	M	T	268	70.45
L2H3-03	M	B	224	43.84	L2H9-03	M	T	133	35.8
L2H3-04	M	B	207	48.73	L2H9-04	Ch	ST	107	29.04
L2H3-05	R	R	R	R	L2H9-05	M	T	205	57.89
L2H4-01	R	R	R	R	L2H10-01	M	T	324.5	55.85
L2H4-02	R	R	R	R	L2H10-02	M	T	234	51.13
L2H4-03	M	B	254	41.92	L2H10-03	M	T	257	55.99
L2H4-04	M	B	168	37.67	L2H10-04	Ch	ST	77	34.24
L2H4-05	M	B	221.5	43.02	L2H11-01	M	T	226	45.69
L2H5-01	M	B	236	46.45	L2H11-02	R	R	R	R
L2H5-02	Ch	ST	muerto	muerto	L2H11-03	M	T	191	41.95
L2H5-03	M	B	262	54.36	L2H11-04	M	T	124	25.46
L2H5-04	M	B	130	64.82	L2H11-05	M	T	226	37.76
L2H5-05	R	R	R	R	L2H12-01	M	T	143	26.72
L2H6-01	M	T	256	44.65	L2H12-02	R	R	R	R
L2H6-02	R	R	R	R	L2H12-03	T	M	144	22.2
L2H6-03	M	T	194.5	42.72	L2H12-04	Ch	ST	130	23.56
L2H6-04	R	R	R	R	L2H12-05	Ch	ST	133	17.56

CT^z=Clasificación de tamaño: Ch (chico) y M (mediano); Tr^v=Tratamiento: ST (sin tratamiento), B (blanco, sin fertilización), CF (con fertilización), R (replantación); AI1^x (altura inicial); DCR1^w (diámetro del cuello de la raíz).

Anexo 3. Datos de altura y diámetro inicial en el cuello de la raíz de los árboles pertenecientes a las unidades experimentales en la plantación del Lote 1 (6 años) y Lote 2 (2 años)

M ^z	Ejemplares	TRAT ^y	DBT1 ^x	A1 ^w	M	Ejemplares	TRAT	DBT1	ALT1
-----Lote 1-----					-----Lote 2-----				
			cm	M				Cm	M
231	L1H1604	6SF	10.52	3.59	241	L2H0202	SF	5.31	2.28
	L1H1102	6SF	14.50	3.00		L2H0404	SF	4.30	2.22
	L1H0904	6SF	11.03	3.46		L2H0304	SF	4.87	2.07
232	L1H1902	6SF	9.84	3.59	242	L2H0304	SF	M	M
	L1H0503	6SF	9.06	3.00		L2H0101	SF	4.16	2.01
	L1H0704	6SF	12.17	3.46		L2H0504	SF	6.48	1.30
233	L1H0802	6SF	13.07	3.63	243	L2H0503	SF	5.44	2.62
	L1H0702	6SF	9.23	2.26		L2H0303	SF	4.38	2.24
	L1H0404	6SF	9.96	2.96		L2H0402	SF	4.19	2.54
234	L1H0501	6SF	10.55	1.06	244	L2H0103	SF	3.36	1.51
	L1H0602	6SF	9.99	3.30		L2H0205	SF	2.68	1.36
	L1H0505	6SF	9.72	3.53		L2H0403	SF	3.77	1.68
235	L1H0604	6SF	7.62	2.80	245	L2H0501	SF	4.65	2.36
	L1H0103	6SF	8.55	2.61		L2H0302	SF	4.09	1.81
	L1H1404	6SF	11.49	3.80		L2H0201	SF	3.19	1.27
236	L1H0509	F	10.73	2.97	246	L2H1003	F	5.60	2.57
	L1H1413	F	7.97	3.55		L2H1104	F	2.55	1.24
	L1H0510	F	15.34	3.84		L2H0703	F	3.03	1.43
237	L1H0507	F	10.15	2.55	247	L2H1101	F	4.57	2.26
	L1H0811	F	12.17	3.36		L2H0903	F	3.58	1.33
	L1H0104	F	7.18	1.88		L2H1002	F	5.11	2.34
238	L1H0210	F	5.18	2.83	248	L2H0901	F	5.40	3.08
	L1H1704	F	12.46	4.00		L2H0802	F	4.22	2.37
	L1H0306	F	11.11	2.80		L2H1001	F	5.59	3.25
239	L1H0906	F	8.82	3.22	249	L2H0803	F	5.77	2.02
	L1H1608	F	13.75	3.86		L2H0605	F	3.83	2.17
	L1H1303	F	8.93	2.73		L2H0704	F	2.89	1.60
240	L1H0506	F	15.34	3.26	250	L2H1105	F	3.78	2.26
	L1H0907	F	9.00	3.03		L2H0902	F	7.05	2.68
	L1H0408	F	7.76	3.08		L2H0905	F	5.79	2.05

M^z = unidades experimentales formadas por tres ejemplares de árboles; TRAT1^y= Tratamientos: 6SF (árboles de 6 años sin fertilización), 6F (6 años con fertilización), 2SF (2 años sin fertilización), 2F (2 años con fertilización); DBT1^x=Diámetro en base del tallo inicial; ALT^w=Altura inicial.

Anexo 4. Concentración final de nutrientes de Moringa oleifera en los tratamientos y cinco repeticiones.

Muestra	T ^z	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
231	6SF	3.22	0.23	1.65	2.44	0.60	1.16	111.63	2.92	21.18	9.90	226.9
232	6SF	3.47	0.22	1.28	2.42	0.58	1.18	87.93	2.22	14.73	6.20	228.5
233	6SF	3.43	0.22	1.76	2.04	0.56	1.27	80.73	2.52	16.33	7.10	204.52
234	6SF	3.50	0.25	1.45	1.90	0.36	1.46	105.18	2.79	16.68	8.95	228.12
235	6SF	3.71	0.23	2.89	2.78	0.93	1.13	105.38	2.62	16.48	6.65	228.92
236	6F	3.82	0.27	1.57	2.26	0.52	1.57	451.65	5.12	62.85	23.65	204.92
237	6F	4.48	0.28	1.98	1.54	0.36	1.78	382.30	4.45	50.33	21.35	189.32
238	6F	4.13	0.25	2.04	1.75	0.34	1.81	439.65	4.77	59.55	24.40	159.32
239	6F	3.85	0.27	1.60	1.90	0.38	1.71	275.50	2.84	35.03	15.45	180.92
240	6F	4.20	0.32	1.35	1.86	0.38	1.74	460.88	4.56	63.38	22.30	163.32
241	2SF	3.36	0.26	1.63	2.61	0.38	1.40	98.30	3.03	17.70	8.10	196.40
242	2SF	3.99	0.29	1.64	2.42	0.39	1.50	203.70	3.33	32.90	12.85	146.77
243	2SF	3.50	0.26	1.42	2.80	0.45	1.50	100.90	2.32	14.78	5.95	185.29
244	2SF	3.29	0.27	0.85	2.31	0.37	1.44	85.10	2.13	16.48	4.70	202.70
245	2SF	3.64	0.30	1.94	2.38	0.41	1.40	69.53	2.50	17.23	5.10	206.03
246	2F	4.34	0.34	1.13	1.81	0.30	1.63	378.90	4.44	64.70	21.25	133.81
247	2F	4.59	0.27	1.76	2.02	0.32	1.37	458.50	4.90	64.10	21.45	129.37
248	2F	4.24	0.27	0.63	2.49	0.36	1.43	492.50	5.48	69.50	19.10	156.40
249	2F	4.20	0.24	1.31	2.07	0.36	1.20	208.90	2.79	36.18	10.70	145.66
250	2F	4.34	0.30	1.51	2.20	0.33	1.52	382.50	4.26	50.13	18.70	143.07

^z= Tratamientos: 6SF (árboles de 6 años sin fertilización), 6F (6 años con fertilización), 2SF (2 años sin fertilización), 2F (2 años con fertilización) con cinco repeticiones.

Anexo 5. Media de la concentración de nutrientes de los tratamientos y desviación estándar de las muestras.

Tratamiento ^z	N	d.e	P	d.e	K	d.e	Ca	d.e	Mg	d.e	S	d.e
	-----%											
6SF	3.5	0.18	0.23	0.01	1.8	0.63	2.3	0.35	0.6	0.21	1.2	0.1
6F	4.1	0.27	0.29	0.03	1.7	0.29	1.9	0.26	0.4	0.07	1.8	0.0949
2SF	3.6	0.28	0.28	0.02	1.5	0.41	2.5	0.20	0.4	0.03	1.4	0.0514
2F	4.3	0.15	0.28	0.04	1.3	0.43	2.1	0.25	0.3	0.03	1.4	0.1615

^z= Tratamientos: 6SF (árboles de 6 años sin fertilización), 6F (6 años con fertilización), 2SF (2 años sin fertilización), 2F (2 años con fertilización) con cinco repeticiones.

Continuación...

Tratamientos ^z	Cu	d.e.	Zn	d.e.	Fe	d.e	Mn	d.e	B	d.e.
	-----mg kg ⁻¹ -----									
6SF	7.8	1.6	17.1	2.42	98.2	13.1	130.1	0.27	223.4	10.58
6F	23.3	3.54	62.4	11.9	434.9	77.03	196.9	0.88	179.6	18.80
2SF	7.3	3.34	19.8	7.40	111.5	53.02	133.1	0.50	187.4	24.10
2F	18.2	4.39	56.9	13.6	384.3	109.5	218.7	1.01	141.6	10.60

^z= Tratamientos: 6SF (árboles de 6 años sin fertilización), 6F (6 años con fertilización), 2SF (2 años sin fertilización), 2F (2 años con fertilización) con cinco repeticiones.

Anexo 6. Promedio de los datos morfológicos iniciales y finales de los tres árboles pertenecientes a las unidades experimentales.

Tratamiento ^z	Diámetro inicial	Altura inicial	Volumen inicial	Diámetro final	Altura final	Volumen final
6SF	1.20	335.00	190.44	1.24	320.33	190.14
6SF	1.04	335.00	155.13	1.03	289.33	132.78
6SF	1.08	295.00	143.73	1.06	300.00	143.47
6SF	1.01	263.00	117.52	1.19	341.67	191.08
6SF	0.92	307.00	121.88	0.93	314.50	125.92
6F	1.13	345.33	181.20	1.20	336.00	190.07
6F	0.98	259.67	112.15	1.21	298.00	170.48
6F	0.96	321.00	133.98	1.10	324.67	162.32
6F	1.05	327.00	154.26	1.08	319.00	156.07
6F	1.07	312.17	151.08	1.02	309.33	140.86
2SF	0.48	218.83	41.52	0.52	235.50	48.14
2SF	0.53	165.50	34.60	0.45	204.25	36.04
2SF	0.47	246.67	45.30	0.52	251.83	50.99
2SF	0.33	151.67	20.36	0.46	233.33	42.27
2SF	0.40	181.17	28.63	0.45	200.33	35.21
2F	0.37	174.67	26.10	0.45	238.50	42.55
2F	0.44	197.67	34.45	0.50	214.67	42.32
2F	0.51	289.83	57.68	0.65	299.67	77.89
2F	0.42	193.00	31.82	0.42	187.83	31.29
2F	0.55	233.00	50.79	0.56	256.00	55.95

^z= Tratamientos: 6SF (árboles de 6 años sin fertilización), 6F (6 años con fertilización), 2SF (2 años sin fertilización), 2F (2 años con fertilización).