

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Caracterización de la Germinación y Estudios Citológicos de  
*Moringa oleifera* Lam.

Por:

**ÁNGEL REYES MACÍN**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México

Septiembre, 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Caracterización de la Germinación y Estudios Citológicos de  
*Moringa oleifera* Lam.

Por:

**ÁNGEL REYES MACÍN**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría

M.C. Martha Gómez Martínez  
Asesor Principal

Dr. Jorge Raúl González Domínguez  
Coasesor

Dra. Susana Gómez Martínez  
Coasesor

Dr. Gabriel Gallegos Morales  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Coordinación  
División de Agronomía

Septiembre, 2016

## DEDICATORIAS

### A MIS PADRES

**Ángel Reyes Méndez** y **Angélica Macín Ramos** con cariño y admiración les dedico este trabajo, porque en el se resumen todos los sacrificios que han hecho por mí, pero sobre todo, les doy gracias por todo el apoyo, consejos y ejemplos que me han brindado hasta el momento, los cuales me han servido para abrimme paso en la vida.

### A MI ESPOSA E HIJA

Con amor y cariño. Para ti **María Andrea Rojas Guerrero**<sup>(†)</sup> porque siempre serás alguien importante en mi vida, sin ti esto no podría haber sido posible, gracias por tu apoyo incondicional, tu amor, paciencia, tolerancia y haberme dado el regalo más grande de la vida, mi hija **Diana Ivonne Reyes Rojas** de quien he aprendido grandes cosas en la vida y con quien paso momentos inigualables.

### A MIS ABUELOS

**Ramón**<sup>(†)</sup>, **Josefina**, **Arturo** y **Teodora** a todos ustedes con respeto y admiración, porque gracias a los consejos que me brindaron, me enseñaron grandes lecciones de la vida. Pero sobre todo a ti abuelo Ramón <sup>(†)</sup> porque siempre serás un ejemplo de lucha y tus palabras siempre estarán conmigo.

### A MIS HERMANAS

**Beatriz** y **Salma**, a ustedes quienes me han brindado su cariño y comprensión, pero sobre todo gracias por el apoyo que me han brindado cuando lo he necesitado.

A mis tíos (as) y primos (as) a quienes no menciono por no cometer el error de omitir a alguno (a), les doy gracias por darme palabras de aliento y buenos deseos, los cuales sirvieron para la culminación de este trabajo de investigación.

A mi suegra la Sra. **Carmen Guerrero Sandoval** y a mi cuñado **Diego Rojas Guerrero** les doy gracias por siempre brindarme su apoyo en los momentos que más lo necesite y porque forman parte de mi vida.

Al Sr. **Fermín Aguirre Verónico** y la Sra. **Nubia Aldaco Moncada** quienes me acogieron en su hogar durante estos cinco años de estancia en Saltillo, y a sus hijos **Alberto, Alondra y Édison** quienes me brindaron su amistad.

A mis maestros, a ustedes les agradezco por haberme formado como profesionista al compartirme sus conocimientos y siempre llevándome algo positivo de cada uno de ustedes.

A la **M.C. Ma. Cristina Vega Sánchez**. Por su amistad y apoyo brindado durante mi llegada a la Universidad y durante mi estancia en la misma. Y aunque no me dio clases tuvo el tiempo para compartirme sus conocimientos.

A la **Lic. Gabriela González Moreno**. Gracias por su apoyo incondicional, y a pesar de que no me impartió clases, me considero uno de sus hijos como siempre nos dice.

Al **M.C. José Luis Herrera Ayala** quien desde mi llegada a la Universidad siempre me aconsejó y brindo su amistad, alentándome a ser una mejor persona.

Al **Ing. Raymundo Cuéllar Chávez** por la amistad brindada desde antes de mi llegada a la Universidad y el apoyo manifestado desde el primer día que llegué a Saltillo.

Al **M.C. Samuel Peña Garza** quien a pesar de no haberme impartido clases me ha enseñado lecciones que en los libros no se aprenden. Además de ofrecerme su amistad durante mi estancia en la Universidad como estudiante y profesionalmente.

Al **Ing. Rafael Iván Cárdenas Hernández** y su familia, quienes me abrieron las puertas de su casa al llegar a Saltillo.

A mi tutora, la **Dra. Leila Minea Vásquez Siller** por sus sugerencias académicas y consejos brindados durante mi estancia en la Universidad, además de permitirme colaborar en sus proyectos de investigación.

Al **Instituto de Promoción para el Desarrollo Rural** y a todos sus integrantes, en donde me han enseñado que no todo es trabajo, y que una taza de café puede cambiarte el día. Pero sobre todo al **M.C. Juan Manuel Peña Garza** por el apoyo brindado durante la elaboración del presente trabajo, además de compartirme sus conocimientos durante mi estancia en el IPRÓDER.

A mis compañeros de la Generación CXX, con quienes viví momentos inolvidables. Principalmente a todos aquellos que me brindaron su amistad: Iván Bonilla, Jorge Alfaro, José Luis Gutiérrez, Alfonso Hernández, Tomás Santiago, José Luis Ramírez, Neftalí Cruz, Miguel Ángel Cuéllar, Asaid Adán Díaz, Juan Hernández, Elena Hernández, Lizbeth Cano, Abdón Gilberto, Eustrain Roblero, Samuel Cruz y Juan Tepexpa.

Y a ustedes que, aunque no fueron mis compañeros de Generación o Carrera siempre me apoyaron y me ofrecieron su amistad: Doriang Arroyo, Estefanía Vaquera, Merary Sujey, Claudia Francely, Francisco Licon, Aldo Arroyo, José Peralta y Sergio Rojas.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi Alma Mater, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme abierto las puertas de sus aulas, permitiendo mi formación académica y dándome las herramientas para enfrentar un mundo con hambre.

A la M.C. Martha Gómez Martínez, mi más grande agradecimiento por compartir sus conocimientos y dedicación durante la realización del presente trabajo de investigación, pero sobre todo por su amistad.

A la Dra. Susana Gómez Martínez por el apoyo brindado durante la realización de este trabajo y durante su estancia como Jefa del Programa Docente de la Carrera Ing. Agrónomo en Producción.

Al Dr. Jorge Raúl González Domínguez por su tiempo, esfuerzo y dedicación a este trabajo, pero sobre todo por compartirme sus conocimientos.

A la Dra. Francisca Ramírez Godina por permitirme realizar parte de los estudios de este trabajo de investigación en el Laboratorio de Citogenética, el cual está a su cargo.

A la Dra. Alma Patricia García Villanueva quien me abrió un espacio en el Laboratorio de Servicio de Semillas para poder realizar una parte de los trabajos de esta investigación.

A la T.L.Q. Norma Leticia Portos Gaona y a la Auxiliar de Laboratorio Mariela Villela Orejón, gracias por su apoyo y consejos brindados durante la elaboración del presente trabajo de investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|  | Página |
|--|--------|
| <b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....                               | XI     |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....                               | XII    |
| <b>RESUMEN</b> .....   | XIII   |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                                    | 1      |
| <b>OBJETIVO GENERAL</b> .....                                | 3      |
| <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....                           | 3      |
| <b>HIPÓTESIS</b> .....                                       | 4      |
| <b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....                          | 5      |
| Origen Filogenético de la Moringa.....                       | 5      |
| Moringaceae dentro del Orden Brassicales.....                | 5      |
| Familia Moringaceae.....                                     | 5      |
| Descripción Morfológica.....                                 | 5      |
| Género Moringa.....  | 7      |
| Especies del Género Moringa.....                             | 7      |
| Distribución del Género Moringa.....                         | 7      |
| Clasificación del Género Moringa.....                        | 8      |
| <i>Moringa oleifera</i> .....                                | 10     |
| Origen y Distribución.....                                   | 10     |
| Clasificación Taxonómica.....                                | 11     |
| Sinónimos y Nombres Comunes de <i>Moringa oleifera</i> ..... | 11     |
| Características Morfológicas.....                            | 12     |
| Raíz.....  | 13     |
| Tallo.....   | 13     |

|   |    |
|---|----|
| Corteza.....                              | 14 |
| Ramas.....                                | 15 |
| Hojas.....                                | 15 |
| Flor.....                                 | 15 |
| Fruto.....                                | 16 |
| Semillas.....                             | 16 |
| Requerimientos Edafoclimáticos.....       | 17 |
| Clima.....                                | 17 |
| Temperatura.....                          | 17 |
| Precipitación.....                        | 17 |
| Altitud.....                              | 18 |
| Edáficos.....                             | 18 |
| Biología de <i>Moringa oleifera</i> ..... | 19 |
| Etapa Vegetativa.....                     | 19 |
| Reproducción por Semilla.....             | 19 |
| Reproducción Vegetativa.....              | 21 |
| Estacas.....                              | 21 |
| Micropropagación.....                     | 22 |
| Número Cromosómico.....                   | 23 |
| Variedades.....                           | 23 |
| Plagas y Enfermedades.....                | 26 |
| Contenido Nutricional.....                | 27 |
| Macronutrientes y Micronutrientes.....    | 27 |
| Aminoácidos.....                          | 28 |
| Proteínas.....                            | 29 |
| Vitaminas.....                            | 31 |
| Antioxidantes.....                        | 32 |
| Componentes Anti-nutricionales.....       | 33 |
| Usos de la Moringa.....                   | 34 |
| Alimentación Humana.....                  | 35 |
| Alimentación Animal.....                  | 37 |



|  |           |
|--|-----------|
| Aplicaciones Farmacológicas.....             | 38        |
| Tratamiento de Aguas.....                    | 39        |
| Agricultura.....                             | 41        |
| Industria.....                               | 42        |
| Cosmética.....                               | 42        |
| Aceites.....                                 | 43        |
| Biodiesel.....                               | 45        |
| <b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>             | <b>46</b> |
| Sitio Experimental.....                      | 46        |
| Material Genético.....                       | 46        |
| Caracterización de la Germinación.....       | 47        |
| Experimento en Invernadero.....              | 47        |
| Experimento en Laboratorio.....              | 47        |
| Variables Evaluadas.....                     | 49        |
| Invernadero.....                             | 48        |
| Laboratorio.....                             | 50        |
| Análisis Estadístico.....                    | 53        |
| Determinación del Número Cromosómico.....    | 53        |
| Siembra del Material.....                    | 53        |
| Recolección de Muestras.....                 | 54        |
| Pretratamiento y Fijación de la Muestra..... | 54        |
| Técnicas Aplicadas a las Muestras.....       | 55        |
| Coloración con Carmín en Ácido Acético.....  | 55        |
| Degradación con Papaína.....                 | 55        |
| Observación al Microscopio.....              | 56        |
| <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>           | <b>57</b> |
| Porcentaje de Germinación.....               | 57        |
| Índice de Velocidad de Germinación.....      | 59        |
| Días a Emergencia.....                       | 60        |
| Índice de Velocidad de Emergencia.....       | 61        |
| Altura de Planta.....                        | 63        |

|  |           |
|--|-----------|
| Longitud Media de Plúmula.....                               | 64        |
| Longitud Media de Radícula.....                              | 65        |
| Peso Seco Radicular.....                                     | 66        |
| Número de Raíces Adventicias.....                            | 66        |
| Longitud Media de Radícula vs Longitud Media de Plúmula..... | 67        |
| Determinación del Número Cromosómico.....                    | 68        |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>                                     | <b>75</b> |
| <b>LITERATURA CITADA.....</b>                                | <b>76</b> |

## ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro<br>No. |  | Página |
|---------------|--|--------|
| 1             | Contenido de minerales de las hojas de Moringa de tres procedencias.....   | 27     |
| 2             | Resultados promedio de análisis de minerales en Moringa .....  | 28     |
| 3             | Composición de aminoácidos de <i>Moringa oleifera</i> .....  | 30     |
| 4             | Valor nutritivo por cada 100 gr de vainas, hojas frescas y harina de hojas secas de <i>M. oleifera</i> .....   | 32     |
| 5             | Comparación del análisis bromatológico de tres métodos de siembra: testigo, químico y orgánico.....  | 32     |
| 6             | Contenido de inhibidores de tripsina (CIT).....  | 34     |
| 7             | Determinación del estado de oxidación de los aceites de <i>M. oleifera</i> .....   | 44     |
| 8             | Porcentaje de germinación (PG), plántulas normales (PN), plántulas anormales (PA), plántulas normales más anormales (PNA) y semillas sin germinar (SSG) de las variedades Cápsula Larga y Corta..... | 57     |
| 9             | Valores de F calculada del análisis de varianza de la altura de planta en tres variedades de <i>M. oleifera</i> . Buenavista, Saltillo, Coahuila, 2016.....  | 63     |
| 10            | Comparación de medias de tres fechas de altura de planta de tres variedades de <i>M. oleifera</i> . Saltillo, Coah. 2016.....  | 64     |
| 11            | Medias de longitud de plúmula, longitud de radícula, peso seco de raíz por plántula, número de raíces adventicias de dos variedades de Moringa.....  | 65     |
| 12            | Medias de longitud de radícula vs longitud de plúmula de Cápsula Corta y Cápsula Larga con valores de T calculada.....   | 67     |
| 13            | Tamaño de los cromosomas de una célula en metafase mitótica de <i>M. oleifera</i> .....  | 72     |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura<br>No. |  | Página |
|---------------|--|--------|
| 1             | Distribución del Género <i>Moringa</i> .....   | 8      |
| 2             | Morfología de <i>Moringa oleifera</i> .....  | 13     |
| 3             | Características Morfológicas de <i>M. oleifera</i> .....   | 14     |
| 4             | Usos principales de diferentes partes de <i>Moringa oleifera</i> ...   | 35     |
| 5             | Número de semillas germinadas por día de prueba (IVG) en tres variedades de <i>Moringa</i> .....                                   | 60     |
| 6             | Días a emergencia de tres variedades de <i>Moringa</i> .....   | 61     |
| 7             | Número de plúmulas que emergieron por día de prueba en tres variedades de <i>Moringa</i> .....                                     | 62     |
| 8             | 2N=2X=28 cromosomas de <i>Moringa oleifera</i> variedad Cápsula Larga.....   | 69     |
| 9             | Número cromosómico de <i>M. oleifera</i> variedad Cápsula Larga (2N=2X=28).....  | 70     |
| 10            | Tamaño de los cromosomas de la variedad Cápsula Larga de <i>M. oleifera</i> .....  | 70     |
| 11            | Tamaño de los cromosomas de la variedad Cápsula Larga de <i>M. oleifera</i> .....  | 71     |
| 12            | Tamaño de los cromosomas de la variedad Cápsula Larga de <i>M. oleifera</i> .....  | 71     |
| 13            | División celular de la variedad Cápsula Larga de <i>Moringa oleifera</i> . A) Profase, B) Metafase, C) Anafase y D) Telofase.....  | 73     |
| 14            | División mitótica de la variedad Cápsula Corta de <i>Moringa oleifera</i> . A) Profase, B) Metafase, C) Anafase y D) Telofase..... | 74     |

# Resumen

## **Caracterización de la Germinación y Estudios Citológicos de *Moringa oleifera* Lam.**

*Moringa oleifera* es la especie más importante del género *Moringa*. Originaria del Subcontinente Indio y países vecinos, diversificándose en el sur de la India; actualmente se le encuentra en diferentes partes del mundo. La dispersión se debe principalmente a que a todas las partes de la planta se le atribuyen ciertas características y cualidades, como su contenido de nutrientes, aminoácidos esenciales, proteína, vitaminas y antioxidantes. Esto permite que tenga un gran número de usos en la alimentación humana y animal, la potabilización de agua, su utilización en industrias como la aceitera, de combustibles y cosmética por mencionar algunas. Además de que en la medicina tradicional es ampliamente utilizada. La gran mayoría de las investigaciones se han centrado en la generación de nuevas formas de utilización, dejando a un lado estudios básicos como los citogenéticos y de predicción sobre su comportamiento en regiones potenciales para su siembra.

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, donde se desarrollaron trabajos en invernadero y laboratorio para determinar el comportamiento de la germinación mediante pruebas de vigor. En invernadero se sembraron 60 semillas en charolas con peat moss para evaluar los días a emergencia, índice de velocidad de emergencia, índice de velocidad de germinación y altura de planta. Mientras que en laboratorio

se evaluaron los porcentajes de germinación, la longitud media de plúmula y radícula, peso seco radicular y número de raíces adventicias, en 16 repeticiones de 25 semillas cada una de las variedades evaluadas. Para el análisis de los datos se utilizó una comparación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p=0.05$  y  $0.01$ ) y un diseño completamente al azar. Por su parte los estudios citogenéticos fueron realizados mediante la técnica de “Estudio de cromosomas somáticos en ápices radicales de maíz, utilizando coloración con carmín propiónico”, realizando dos modificaciones a la técnica para su uso en *M. oleifera*.

Los lotes de semillas utilizados presentaron un buen porcentaje de germinación, y de vigor con base en los valores altos obtenidos en el índice de velocidad de emergencia, días a emergencia e índice de velocidad de germinación. En altura de planta, peso seco de radicular por plántula y longitud media de radícula vs longitud media de plúmula se encontraron diferencias altamente significativas, el número de raíces adventicias mostró diferencias significativas y se apreciaron diferencias no significativas en longitud media de plúmula y longitud media de radícula. El número cromosómico se determinó para la variedad Cápsula Larga en donde fue igual a ( $2N=2X=28$ ), los cromosomas presentan un tamaño de entre  $0.05\ \mu\text{m}$  a  $0.10\ \mu\text{m}$ . Asimismo, la especie presenta una alta división celular desde tempranas horas y por un tiempo prolongado de entre las 5:30 hasta las 11:30 a.m.

**Palabras clave:** *Moringa oleifera*, caracterización de la germinación, pruebas de vigor, número cromosómico.

Correo electrónico: Ángel Reyes Macín, reymangel19@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

*Moringa oleifera* es la especie más cultivada y conocida en el mundo de las 13 especies pertenecientes al género *Moringa*, género único de la familia Moringaceae. La especie es originaria del sur del Himalaya, desde el norte de la India, noreste de Pakistán y Nepal hasta el noreste de Bangladesh (Sharma *et al.*, 2011), pero se diversificó al ser introducida en el sur de la India (Ganesan *et al.*, 2014).

Las especies de la familia Moringaceae son fáciles de identificar por una serie de distintivos que las caracterizan entre los que se encuentran hojas pinnadas, frutos (cápsulas) trivalvados y semillas con tres alas (Olson y Fahey, 2011). Además *M. oleifera* es un árbol de rápido crecimiento y poco longevo, que se adapta a una amplia gama de climas, suelos, y altitudes. Lo que facilita su establecimiento en regiones tropicales y subtropicales de todos los continentes, en donde se le conoce con un número multivariado de nombres comunes.

El gran auge que ha tenido la especie se debe principalmente a las características y cualidades que se le atribuyen a la mayoría de las partes de la planta. Las principales características que presenta es su alto contenido de macro y micronutrientes (Foidl *et al.*, 2001). La cantidad de aminoácidos esenciales que posee, incluidos algunos como la arginina y la histidina, que se encuentran generalmente en proteínas de origen animal (Mahmood *et al.*, 2010; Martín *et al.*, 2013). Diversos estudios han demostrado que las hojas y las semillas contienen un alto porcentaje de proteína (Makkar y Becker, 1996 Anhwange *et al.*, 2004; García *et al.*, 2006; Mahmood *et al.*, 2010; Paliwal *et al.*, 2011a).

Además, las hojas de moringa son una fuente rica de vitaminas y provitaminas (Fuglie, 2001; Mahmood *et al.*, 2010; Dhakar *et al.*, 2011). También es fuente de antioxidantes entre sus componentes, resultando ser un producto de bajo costo y fácil acceso. Así mismo los extractos de hojas de moringa han demostrado ser capaces de captar radicales libres (Elangovan *et al.*, 2014; Abass *et al.*, 2015). En la planta también se han encontrado elementos anti-nutricionales (García *et al.*, 2006; Ferreira *et al.*, 2008; Torres *et al.*, 2013), pero por su alto contenido de proteínas y otros elementos benéficos, su uso en la alimentación se potencializa (Ferreira *et al.*, 2008).

Todas las partes de la planta son aprovechables para la obtención de alimento o tienen alguna otra propiedad (Foidl *et al.*, 2001). Su uso en la alimentación humana es de suma importancia en muchas regiones de Asia, elaborándose una gran cantidad de platillos (Martín *et al.*, 2013). Su uso en comunidades de alta marginación podría mejorar problemas de salud pública como la desnutrición. Por su parte en la alimentación de animales se ha demostrado que es un excelente forraje (García *et al.*, 2006). En la medicina tradicional la moringa es ampliamente utilizada (Ramachandran *et al.*, 1980). Algunos autores han reportado su utilización en el tratamiento de más de 25 padecimientos (Nikkon *et al.*, 2003; Parrotta, 2009). De la semilla se puede extraer aceite que es utilizado como aceite comestible por su alto contenido de ácido oleico (Paliwal *et al.*, 2011a) o en la elaboración de biodiesel (Rashid *et al.*, 2008). Además, también se pueden obtener floculantes que eliminan la turbidez del agua (Pérez *et al.*, 2010a) y que permiten potabilizarla a través de sus propiedades antimicrobianas y antifúngicas (Nikkon *et al.*, 2003). Estos son sólo algunos de sus usos potenciales, por lo cual resulta ser una planta de suma importancia.

Estudios realizados en la India en 300 genotipos de *Moringa oleifera*, utilizando caracteres morfológicos (cualitativos y cuantitativos) y marcadores moleculares SSR, se ha demostrado que existe una gran diversidad en el



germoplasma (Ganesan *et al.*, 2014), lo que confirma la multivariada cantidad de registros en la caracterización de diferentes rasgos agronómicos por diferentes autores. Por otra parte, los estudios citogenéticos llevados a cabo en esta especie han sido escasos, y los pocos que se han realizado se centran en análisis meióticos (Patel y Narayana 1937); Mendiolo *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2011).

A pesar de ser una planta de suma importancia en varias regiones del mundo, muchos de sus estudios se han centrado en sus posibles usos, dejando a un lado análisis como los citogenéticos, que son estudios básicos para iniciar un Programa de Mejoramiento. Por lo anterior, se diseñó el presente trabajo con la finalidad de determinar el número cromosómico de dos variedades de *Moringa oleifera*, para conocer más su genética y realizar una caracterización de la germinación de la especie para utilizar estos resultados en estudios posteriores.

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar el número cromosómico somático y la caracterización del proceso germinativo de *Moringa oleifera*.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Determinar el comportamiento del proceso germinativo de tres variedades de *Moringa oleifera*.

Determinar por medio de análisis mitótico en puntas de raíz el número cromosómico de dos variedades de *Moringa oleifera*.

## HIPÓTESIS

La capacidad germinativa en las nuevas variedades es similar a la observada en otros materiales.

El número somático de cromosomas de las nuevas variedades de *Moringa oleifera* es el mismo reportado en la literatura.

# REVISIÓN DE LITERATURA

## Origen Filogenético de la Moringa

### Moringaceae dentro del Orden Brassicales

Moringaceae es un pequeño grupo que se encuentra dentro del exorbitante orden Brassicales que incluye la familia de la col y del rábano, junto con la familia del mastuerzo y de las alcaparras (Olson y Fahey, 2011). La familia hermana más cercana de Moringaceae es Caricaceae, con la que comparte la característica de presentar glándulas en el ápice del pecíolo (Olson, 2002a). Dentro de Caricaceae se encuentran seis géneros que incluyen 35 especies de árboles, arbustos y una enredadera trepadora. Distribuidos al este y oeste de África, México, América Central y América del Sur, de las cuales sólo son económicamente importantes el papayero (*Carica papaya*) y el bacaco (*Carica pentacarpus*). Estudios realizados por Carvalho y Renner (2012), muestran un cronograma de la evolución y la separación de los diferentes taxones de Caricaceae y algunas especies de Moringaceae a través de millones de años de evolución.

### Familia Moringaceae

#### **Descripción Morfológica**

De acuerdo a Olson (2010) Moringaceae se distingue de las demás familias por una composición de rasgos que la hacen propia e inconfundible. Entre las características más notables se pueden mencionar: que está compuesta por un conjunto de árboles o arbustos con o sin pubescencia, raíces tuberosas (con tron-

cos grandes, fibrosos o arbustos de tipo caña); a menudo con olor y sabor a glucocianatos e isocianatos especialmente en raíces y hojas.

Los tallos son de erectos a colgantes, no ramificados. Las hojas son alternas, caducifolias, 1-3 pinnadas, compuestas, hojas opuestas, enteras, pecíolo presente, estípulas remplazadas por glándulas estipuladas en la base de los pecíolos o ápice. La inflorescencia es una panícula, con (2) 3 – 4 (5) ordenes de ramificaciones, suelen presentar brácteas y bractéolas glandulares, así como pedúnculos. Las flores son zigomorfas (casi actinomorfas), hermafroditas, de color blancas, amarillas o rojas; presenta cinco sépalos, libres por encima del receptáculo, iguales, o desiguales, imbricados por la yema; cinco pétalos iguales o desiguales, imbricados; cinco estambres insertados en el margen del disco, a veces colgantes, alternado con tres a cinco estaminodios (estambre rudimentario, estéril o abortado, que no produce polen), las anteras presentan monoteca, con dos esporangios. El ovario es estipitado, cilíndrico, lanceolado, unilocular; un estilo terminal, delgado, tubular con canal abierto, truncado en el ápice y sin lóbulos de estigmas; sus óvulos están en multitud en dos series, fijos en tres placentas parietales, colgantes, anátropos y crasinucelados. El fruto de la moringa es una cápsula alargada, picuda, valvada y dehiscente; tiene de 10 - 35 semillas de color marrón, globulares, con o sin alas, alas endurecidas o membranosas; el embrión es recto con dos cotiledones y el endospermo está ausente. Otras características de Moringaceae es que presenta en la corteza ductos de goma en la medula de los tallos, exuda una goma color paja o rosado. La madera es de color blanco o amarillento, y en la mayoría son fibrosas en el parénquima (Klbitzki, 2003; Olson, 2010).

## **Género Moringa**

### **Especies del Género Moringa**

La familia Moringaceae cuenta con un único género que es Moringa, dentro de este género podemos encontrar 13 especies tropicales y subtropicales de África, Madagascar, Asia Occidental y el Subcontinente Indio. Estas son *Moringa oleifera*, *M. arborea*, *M. borziana*, *M. concanensis*, *M. drouhardii*, *M. hildebrandtii*, *M. longituba*, *M. ovalifolia*, *M. peregrina*, *M. pygmaea*, *M. rivaie*, *M. ruspoliana* y *M. stenopetala* (Mahmood *et al.*, 2010).

### **Distribución del Género Moringa**

En la Figura 1 se observa el área de distribución natural del género Moringa. Las trece especies se encuentran en zonas tropicales con estaciones secas del Continente Africano, la Isla de Madagascar, y parte de Asia, incluyendo la Península Arábiga y el Subcontinente Indio (Olson, 2002b).

Las especies de Moringa normalmente crecen en bosques, sólo en extrañas coincidencias lo hacen aisladas, y ninguna junto a otra especie del género en el mismo lugar. Dentro de su distribución podemos encontrar tres regiones muy bien delimitadas donde se encuentran especies definidas (Olson, 2002b).

La primera región comprende la península Arábiga y el Subcontinente Indio. En esta zona encontramos al grupo de árboles “Slender trees - árboles esbeltos”, formado por *M. oleifera*, *M. peregrina* y *M. concanensis*, que son las especies de mayor relevancia económica del género.

En la segunda región se encuentra el grupo “Boottle trees - árboles botella” que comprende únicamente a especies que se localizan en el hemisferio sur específicamente en Namibia y Angola en el sur oeste de África de donde es

originaria *Moringa ovalifolia*, las otras dos especies *M. drouhardii* y *M. hildebrandtii* son endémicas de Madagascar.



Figura 1. Distribución del Género Moringa.

La región conocida como el cuerno de África alberga los árboles y arbustos conocidos como “Sarcorrhizal trees y los tuberous shrubs - arbustos tuberosos”, en esta zona se encuentra la mayor diversidad del género con ocho especies de las cuales siete son endémicas: *M. pygmaea*, *M. arborea*, *M. stenopetala*, *M. ruspoliana*, *M. rivaie*, *M. borziana* y *M. longituba*, mientras que *M. peregrina* se encuentra en el norte de Somalia, Arabia y las costas del Mar Muerto.

### **Clasificación del Género Moringa**

Abdel-Hameed (2015) realizó un análisis morfo-anatómicos y de secuencias de rbcL de diferentes taxones de Moringa y encontró que el género Moringa es un grupo monofilético. Dentro del género se presenta un número de especies reducido, pero se puede encontrar una extensa variabilidad de formas anatómicas (Olson, 2001). Estas especies generalmente se han dividido en tres

grupos “Bootle tree” (árboles botella), “Sarcorhizal trees y los Tuberous shrubs” (arbustos tuberosos) y “Slender trees” (árboles esbeltos) o en secciones (Moringa, Donaldsonia y Dysmoringa), pero también han sido recientemente clasificados por su hábitat, anatomía de la madera y árboles filogenéticos (Olson, 2002b). El primer grupo de los llamados “Bootle tree-árboles botella” (Donaldsonia o simetría radial) está formado por cuatro especies de árboles: *M. drouhardii*, *M. hildebrandtii*, *M. ovalifolia* y *M. stenopetala*, procedentes principalmente de África y Madagascar los cuales presentan troncos hinchados como la pata de elefante (*Beaucarnea gracilis*) y flores con simetría radial. El segundo grupo conocido como “Sarcorhizal trees y los tuberous shrubs-arbustos tuberosos”, que comprende la sección Dysmoringa (Simetría bilateral con un hipantio largo) y parte de la sección Moringa (simetría bilateral con un hipantio corto), está compuesto por seis especies de arbustos tuberosos y árboles sarcorhizal: *M. arborea*, *M. borziana*, *M. longituba*, *M. pygmaea*, *M. rivaie* y *M. ruspoliana* de África nororiental, que muestran gruesas y carnosas raíces tuberosas. El tercer grupo es conocido como el “Slender trees-árboles esbeltos”, consiste en tres especies de árboles de tronco delgado donde encontramos a *M. concanensis*, *M. oleifera* y *M. peregrina* procedentes del Subcontinente Indio y la Península Arábiga, quienes exhiben raíces fuertes y flores con simetría bilateral.

De las trece especies descritas en el género Moringa, *M. oleifera* es la más conocida, distribuida y cultivada en el mundo, debido a sus múltiples usos en la alimentación humana y animal, como ornamental, en cercos y cortinas rompevientos, extracción de aceite, producción de celulosa, biogás y biodiesel, además en algunas regiones es utilizada en la medicina naturista y para el tratamiento de aguas.

## ***Moringa oleifera***

### **Origen y Distribución**

*Moringa oleifera* Lam. es la especie más cultivada de la familia Moringaceae originaria del sur del Himalaya, desde el norte de la India, noreste de Pakistán y Nepal hasta el noreste de Bangladesh (Sharma *et al.*, 2011). Su rango de adaptación es de 0 hasta 1400 metros sobre el nivel del mar (Parrotta, 2009).

Se ha distribuido e introducido a otras partes de la India y Pakistán, además de otras regiones del mundo como Afganistán, Bangladesh, Sri Lanka, el Sudeste de Asia, Asia Occidental, la Península Arábiga, África Oriental y Occidental, a lo largo de las Indias Occidentales, el Sur de la Florida (USA), y desde México hasta Perú, Paraguay y Brasil (Paliwal *et al.*, 2011a).

De acuerdo a Olson y Fahey (2011), en México la moringa se distribuye ampliamente a todo lo largo de la costa del Pacífico desde Sonora hasta Chiapas, incluyendo el sur de la Península de Baja California, además de todas las depresiones tropicales secas del país. Actualmente la moringa se ha introducido en otros estados del país como Morelos, Oaxaca, Sinaloa, Nuevo León y Sonora (Valdés *et al.*, 2014). Con base en los estudios realizados por Espinosa *et al.* (2014) sobre los requerimientos agroecológicos de la moringa, este cultivo se podría incorporar en toda la vertiente del Golfo de México desde Tamaulipas hasta Yucatán, además de regiones áridas y semiáridas del centro y norte de México.



## **Clasificación Taxonómica**

|               |                             |
|---------------|-----------------------------|
| Reino         | Plantae                     |
| Subreino      | Viridiplantae               |
| Infrareino    | Streptophyta                |
| Superdivisión | Embryophyta                 |
| División      | Tracheophyta                |
| Subdivisión   | Spermatophytina             |
| Clase         | Magnoliopsida               |
| Superorden    | Rosanae                     |
| Orden         | Brassicales                 |
| Familia       | Moringaceae                 |
| Género        | Moringa                     |
| Especie       | <i>Moringa oleifera</i> Lam |

Fuente: ITIS (2016).

## **Sinónimos y Nombres Comunes de *Moringa oleifera***

A pesar de ser una especie de muy fácil reconocimiento, ciertos autores aún utilizan nombres científicos (sinónimos) que no son aceptados por las reglas taxonómicas, entre los que destacan *Moringa pterygosperma* Gaertn (Tsaknis *et al.*, 1999; Warra, 2014); *Moringa nux-ben* PERR (Parrotta, 2009); esto también aplica para *Guilandina moringa* y *Hyperanthera moringa* L. Vahl, las cuales carecen de validez de acuerdo a Olson y Fahey (2011). Otros sinónimos son *Anoma moringa* (L.) Lour., *Hyperanthera decandra* Willd., *Hyperanthera pterygosperma* Oken, *Moringa edulis* Medic., *Moringa erecta* Salisb., *Moringa moringa* (L.) Small, *Moringa myrepsica* Thell., *Moringa octogona* Stokes, *Moringa parviflora* Noronha, *Moringa polygona* DC., *Moringa zeylanica* Pers. (Navie y Csurhes, 2010).

Mahmood *et al.* (2010), mencionan que el nombre del taxón *Moringa* proviene de murunggi o muringa del Tamil y Malayalam, idiomas autóctonos de la India, pero son conocidos más de cincuenta nombres comunes en los cinco continentes, entre los que destacan: (alemán) behenbaum; (árabe) rawag; (assamese) saijna, sohjna; (bengalí) sajina; (birmano) daintha, dandalonbin; (chino) la ke, laken; (cingalés) murunga; (español) ángela, árbol del ben, ben, moringa, marango, paraíso blanco, árbol rábano, árbol de la vida, árbol milagroso; (francés) moringe à graine ailée, morungue, neverdie; (gujarati) midhosaragavo, saragavo; (hindi) mungna, saijna, shajna; (hausa) zogale; (igbo) okwe-oyibo; (inglés) drumstick tree, horseradish tree, ben tree; (italiano) sándalo cerúleo; (kannada) nugge; (konkani) maissang, moring, moxing; (malayalam) murinna, sigr; (marathi) achajhada, shevgi, shohijan; (nepalés) shobhanjan, sohijan; (oriya) sajina; (portugués) moringa, moringueiro, acácia branca; (punjabi) sainjna, soanjna; (sánscrito) shobhanjana, sigru; (suajili) mrongo, mzunze; (tamil) moringa, murungai; (tiv) gerigede; (telugu) mulaga, munaga, tellamunaga; (urdu) sahajna; entre otros (Paliwal *et al.*, 2011a; INCAP, 2008; Parrotta, 2009; Ekhuemelo y Udo, 2014; Navie y Csurhes., 2010; Martín *et al.*, 2013).

### **Características Morfológicas**

De acuerdo a Olson y Fahey (2011) *Moringa oleifera* es una especie de fácil identificación (Figura 2). Se le considera un árbol de porte pequeño a mediano a pesar de crecer hasta los 15 m de altura, aunque generalmente mide de 10 a 12 m, y desarrolla un tallo de 20 a 40 cm de diámetro (Paliwall *et al.*, 2011a). También se le califica como un árbol de rápido crecimiento, con hojas pinnadas perennes en climas tropicales y caducifolios en climas subtropicales y templados.

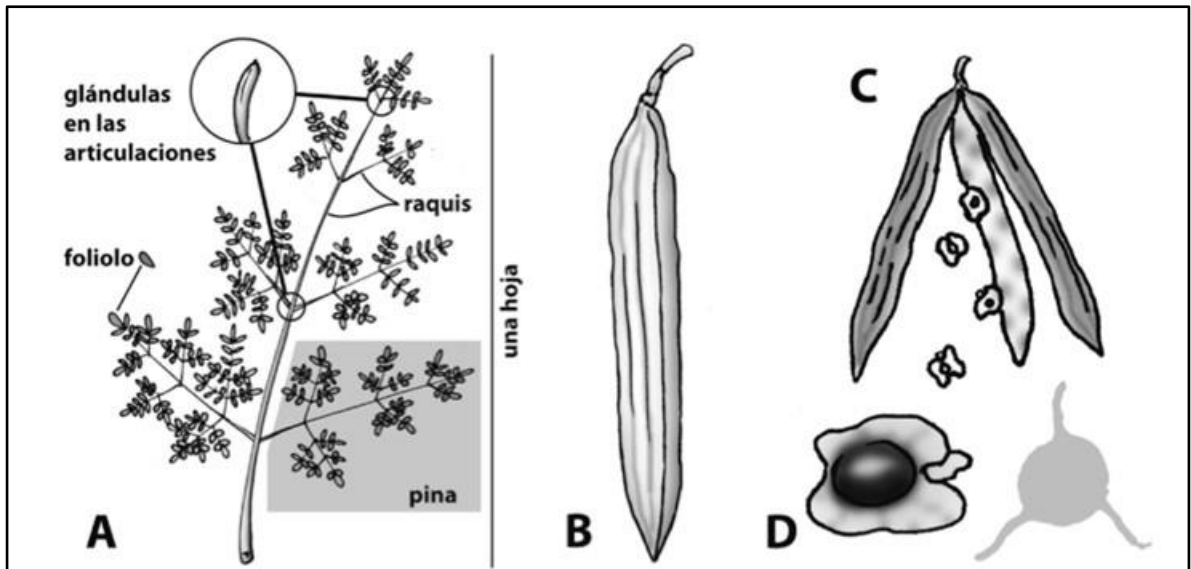


Figura 2. Morfología de *Moringa oleifera* (Olson y Fahey, 2011).

## Raíz

La raíz es pivotante de varios metros de longitud con un sistema de raíces laterales tuberosas. Este sistema es el que le permite tolerar períodos prolongados de sequía, normalmente no se les encuentra en las plantas propagadas por estacas (Fig. 3D). Las plántulas desarrollan un gran rizoma globoso, tuberoso y de color blanco, tiene un olor ocre característico, además de pocas raíces laterales.

## Tallo

Por lo general el tallo es recto, pero ocasionalmente se le puede encontrar mal formado (Fig. 3A). Tiene una altura de 1.5 - 2 m antes de que comience a ramificar, pero puede alcanzar hasta 3.0 m (Foidl *et al.*, 2001). El tronco puede llegar a medir de 20 a 40 cm de diámetro. La madera es suave y ligera, con una densidad de 0.262 g/cm<sup>3</sup> (Chave *et al.*, 2009; Zanne *et al.*, 2009).



Figura 3. Características Morfológicas de *M. oleifera* (EOL, 2016).

### Corteza

La corteza presenta un color blanquecino a gris, es gruesa, suave, fisurada y verrugosa, lo que produce aspereza al tacto (Fig. 3B). Parrotta (2009) señala que cuando hay una herida en la planta, normalmente secreta una goma de color blanco, que al estar expuesta al medio ambiente se torna marrón rojizo hasta llegar al negro parduzco.

## Ramas

Las ramas normalmente son quebradizas y crecen de una manera desorganizada. La copa es amplia, abierta y en forma de paraguas (Fig. 3E).

## Hojas

Las hojas normalmente son grandes y tripinnadas de 20 a 70 cm de longitud (Fig. 3F). Son alternas y dispuestas en espiral sobre las ramas; las pinnas son opuestas. El pecíolo es largo de 8 a 10 pares de pinnas cada una, con dos pares de foliolos opuestos elípticos u ovalados y uno en el vértice, todos de 1 - 2 cm de largo (Foidl *et al.*, 2001; Parrotta, 2009). Se pueden observar glándulas foliares de 1 mm de longitud en las articulaciones de los raquis (Fig. 2A).

## Flor

La inflorescencia es una panícula axilar con tallos delgados y pubescentes de 8 a 30 cm de largo (Fig. 3C). Los capullos de las flores son de forma ovoide y salen de un pedúnculo de 12 a 21 mm de largo (Navie y Csurhes, 2010). Las flores desprenden una fragancia agradable, son de color blanco a crema con manchas amarillas en la base, de 2.5 cm de ancho y 0.7 a 1 cm de largo (Foidl *et al.*, 2001).

La flor tiene cinco sépalos de forma alargada que van de lanceolados, a lanceolados lineales, de 7 a 15 mm de largo por 5 a 6 mm de ancho y ápices obtusos. Cinco pétalos en forma de espátula, de 1 a 2 cm de largo y de 5 a 6 mm de ancho, con venas prominentes. Cinco estambres completamente formados con una longitud de 10 mm, tienen anteras de amarillas a naranja, alternados con cinco estambres estériles (estaminodios) de 7 mm. El pistilo se encuentra compuesto por un ovario pubescente y oblongo (5 mm de largo), con un sólo lóculo que contiene numerosos óvulos. El estilo es delgado con poca

pubescencia y un estigma diminuto (Fig. 3G). La floración puede presentarse durante todo el año en climas tropicales donde las variaciones climáticas son escasas (Navie y Csurhes, 2010; Parrotta, 2009).

## **Fruto**

Los frutos normalmente son llamados vainas, pero en realidad son cápsulas trilobuladas, colgantes, dehiscentes, triangulares y de color verde; en algunas variedades son rojizas, tornándose marrones al madurar (Fig. 2B, Fig. 3H). La maduración del fruto tarda aproximadamente tres meses después de la floración, al llegar a este estado la cápsula se abre a lo largo de las tres lóculas (Fig. 2C). Existen diferentes reportes del tamaño de la cápsula y el número de semillas por fruto. Navie y Csurhes (2010) mencionan que generalmente alcanzan longitudes de 18 - 50 cm, diámetros de 1 a 3 cm, aunque ocasionalmente pueden alcanzar de 10 - 90 cm y 20 semillas por fruto. Por otra parte, Parrotta (2009) reporta que los frutos miden de 20 - 50 cm de largo y ocasionalmente hasta un metro, 2 - 2.5 cm de diámetro y contienen hasta 26 semillas. Foidl *et al.* (2001) reportan una longitud de 20 - 60 cm, con 12 y 35 semillas por cápsula. Finalmente, Paliwal *et al.* (2011a) mencionan proporciones aún mayores que van de 30 - 120 cm de longitud y 1.8 cm en diámetro, que contiene 20 semillas.

## **Semillas**

Navie y Csurhes (2010) indican que las semillas generalmente son semiglobulosas o ligeramente anguladas en tres partes, con un diámetro de 0.7-1.5 cm, la semilla tiene una cáscara semipermeable de color parduzco o de marrón a negro, pero si las semillas tienen baja viabilidad se tornan blancas (Fig. 3I). La cáscara contiene tres alas blancas parecidas al papel en intervalos de 120° (Fig. 2D). Cada árbol puede producir entre 15,000 y 25,000 semillas por año. El peso promedio por semillas es de 0.3 gr, y la relación de la semilla con la cáscara es 75:25 (Makkar y Becheer, 1996). Así mismo Parrotta (2009) reporta

diferencias en los pesos de las semillas entre variedades desde 3,000 a 9,000 semillas por kilogramo.

## **Requerimientos Edafoclimáticos**

### **Clima**

Moringa es una planta que se adapta principalmente a las zonas cálidas, que no presentan heladas (Olson y Fahey, 2011), adecuándose a los climas tropicales y subtropicales (Mahmood *et al.*, 2010).

### **Temperatura**

En el centro de origen de *M. oleifera*, las temperaturas anuales presentan oscilaciones muy amplias, con temperaturas mínimas y máximas a la sombra que van de -1 a 3 °C en los meses fríos y de 38 a 40 °C en los meses más cálidos (Mahmood *et al.*, 2010). Si bien la moringa tiene una amplia capacidad de soportar un amplio espectro de temperaturas, para la óptima producción de hojas y frutos requiere temperaturas medias de 25 a 30 °C (Paliwal *et al.*, 2011a). Sin embargo, Espinosa *et al.* (2014) reportan que las temperaturas óptimas son de 24 a 32 °C, subóptimas de 22 - 24 a 30 - 32 y las marginales de < 24 y > 32 °C.

### **Precipitación**

La moringa es altamente tolerante a la sequía, en su hábitat natural la precipitación media anual varía de 750 – 2200 mm (Mahmood *et al.*, 2010). Se cultiva ampliamente en las regiones semiáridas y áridas de la India, Pakistán, Afganistán, Arabia Saudita y el este de África, donde la precipitación anual es de 300 mm, por lo que probablemente en estos sitios reciba algunos riegos de auxilio. Por su parte Duke (1983) reporta que la moringa puede desarrollarse en un amplio rango, que va desde los 480 hasta 4030 mm anuales. Pero para obtener buenos rendimientos requiere una precipitación anual de 1000 a 2000 mm bien distribuidos (Paliwal *et al.*, 2011a). Estudios realizados en Chiapas,

México sugieren que la precipitación óptima es de 700 a 1500 mm, la subóptima de 500 a 700 mm como mínimo y máximo de 1500 a 2200 mm, por otra parte, no se recomienda establecerse en regiones con precipitaciones menores a 500 mm y superiores a 2200 mm (Espinosa *et al.*, 2014).

### **Altitud**

La moringa se distribuye desde 0 hasta los 1400 msnm (Parrotta, 2009). Sin embargo, Olson y Fahey (2011), mencionan que prospera mejor en sitios por debajo de 500 msnm y tiene un pobre desarrollo cuando se le cultiva en altitudes superiores a 1,500 m. Espinosa *et al.* (2014) hacen referencia que las altitudes óptimas se encuentran entre los 7 a los 800 msnm, las subóptimas entre los 800 a 1,200 msnm y las no favorables debajo de los 7 m y arriba de los 1200 msnm.

### **Edáficos**

La moringa crece a lo largo de los ríos más grandes de su área de distribución natural en aluviones, suelos que generalmente son muy bien drenados y con bajo contenido de materia orgánica (Parrotta, 2009). Soporta una amplia gama de tipos de suelo y pH de entre 4.5-9, pero prefiere suelos bien drenados y un pH neutro (Paliwal *et al.*, 2011a). Sin embargo, investigaciones realizadas en Guatemala por el INCAP (2008) muestran que la planta se adapta a suelos arcillosos o pesados, siempre y cuando no presenten saturaciones por un tiempo prolongado.



## Biología de *Moringa oleifera*

### Etapa Vegetativa

*Moringa oleifera* es un árbol perenne de baja longevidad, tiene una duración máxima de 20 años, aunque se han generado variedades anuales en la India. Es una especie de rápido crecimiento. Aporta una elevada cantidad de nutrientes al suelo, además de protegerlo de la erosión, desecación y altas temperaturas (Jyothi *et al.*, 1990; Morton, 1991; citado por Pérez *et al.*, 2010a).

Price (2007), reporta que los árboles pueden alcanzar hasta 4 m durante el primer año, y una altura final de 6 a 15 m. Por su parte Parrotta (2009) hace referencia a crecimientos rápidos en sitios óptimos, que van de 1 a 2 m por año durante los primeros 3 a 4 años. Estudios realizados en Guatemala por el INCAP (2008) indican que cuando las plantas se encuentran en buenas condiciones de humedad y nutrientes, estas pueden crecer hasta más de 3 metros en nueve meses.

### Reproducción por Semilla

Las semillas tienen tres alas, lo que hace que su propagación por el viento se facilite bajo condiciones naturales. El número de semillas por kilogramo varía de 4,000 a 4,800 (García, 2003). Sin embargo, Padilla *et al.* (2012) reportan de 3,200 a 3,500 semillas por kilogramo. Shahzad *et al.* (2013) mencionan que existe una amplia diversidad genética en *M. oleifera*, Parrotta (2009) reporta una cantidad de semillas por kilogramo más amplia que va de 3,000 a 9,000 semillas dependiendo de la variedad.

La siembra se puede realizar de forma directa o por trasplante (Padilla *et al.*, 2012). Aunque algunos autores como García (2003) indica que las semillas no requieren tratamientos pre-germinativos, Padilla *et al.* (2012) mencionan que

remojar las semillas con agua corriente durante 24 horas antes de la siembra, acelera la germinación. La escarificación en agua caliente no es recomendable, ya que sumergir las semillas en agua a 92 °C durante un minuto afecta negativamente la germinación y si permanecen por dos minutos todas las semillas mueren (Césares *et al.*, 1991 citado por INCAP 2008). Se sugiere una profundidad de siembra de 1 cm (INCAP, 2008); o de 1–2 cm (Parrotta, 2009).

La emergencia es de 5 a 7 días después de la siembra (García, 2003). Toral *et al.* (2013) reportan la emergencia a partir de los seis días. Padilla *et al.* (2012) encontraron una mayor emergencia entre los 11 - 15 días con semillas remojadas por 24 horas, mientras que las no remojadas y las remojadas por 48 horas tuvieron una emergencia entre los 16 a 21 días respectivamente. Medina *et al.* (2007) reportan la comparación de *M. oleifera* y *L. leucocephala* durante la germinación, donde la emergencia de las plántulas ocurrió a los 3 y 6 días, respectivamente. Parrotta (2009) reporta parámetros ampliamente diversos de entre 7 y 30 días posteriores a la siembra.

Podemos encontrar también un amplio espectro en los porcentajes de germinación reportados en la literatura, esto sin duda alguna se debe a la gran diversidad genética que existe y la otra a los múltiples tratamientos que aplican los autores en sus estudios. Las semillas frescas presentan porcentajes de germinación por arriba del 90%. Sin embargo, su poder germinativo disminuye cuando se almacenan por más de dos meses (Sharma y Rains, 1982 citados por Pérez *et al.*, 2010a). Toral *et al.* (2013) reportan un porcentaje de germinación con un rango de 49 a 84% en la caracterización de ocho procedencias de *M. oleifera*, además mencionan que el tiempo de almacenamiento influye en la tasa de germinación, por lo que puede estar relacionado los porcentajes más bajos de dos procedencias, ya que las semillas utilizadas de estas se sembraron tres meses posteriores a su maduración. Padilla *et al.* (2012) utilizaron dos tratamientos del remojo de la semilla de moringa con agua corriente a 24 y 48 horas, el remojo de 24 horas sólo aceleró la emergencia, mientras que en la

germinación obtuvo valores similares del 86 % en ambos tratamientos. Medina *et al.* (2007), realizaron un trabajo bajo condiciones de vivero, ellos obtuvieron 100% de germinación a los 30 días posteriores a la siembra. Morton (1991) reporta porcentajes del 60, 48 y 7.5 % para semillas sembradas después de uno, dos y tres meses subsiguientes a su cosecha. Por otra parte, Esmeraldo *et al.* (2004) concluyen que las semillas de moringa pueden conservar el porcentaje de germinación durante 12 meses cuando se almacenan a 10 °C y una humedad relativa del 55%, después de 24 meses la germinación se reduce al 15%. Otro factor que reduce la germinación es el estrés por salinidad, Hegazi (2015) reporta que, al inducir el estrés salino con agua de mar en combinación con agua de riego, el porcentaje de germinación se redujo considerablemente con el aumento de la proporción del agua de mar (25%) y casi inexistente cuando la relación se convirtió en 50% de agua de mar.

## **Reproducción Vegetativa**

### **Estacas**

La propagación vegetativa por estacas es muy efectiva para reducir los costos de producción de plántulas, eliminando la dependencia de las semillas disponibles en temporada (García *et al.*, 2014). Nos permite obtener una mayor homogeneidad en las plantas debido a que los árboles a partir de semillas de moringa son altamente variables (Morton, 1991). *Moringa oleifera* se propaga mejor por estacas, mientras que el acodo aéreo suele ser una técnica más difícil para la propagación asexual (Sharma and Rains, 1982 citados por Parrotta, 2009). Los árboles que se propagan por esquejes normalmente son de 1 - 2 m de largo y las plantas comienzan con ensayos de frutos a los 6 - 8 meses después de la siembra, pero cuando inician con una producción regular es después del segundo año (Paliwal *et al.*, 2011a). Price (2007) menciona que la propagación de moringa se puede iniciar a partir de esquejes, con un tamaño de las estacas de entre 45-100 cm de largo y un diámetro de 4-10 cm, además de que se deben

tomar ramas leñosas que presenten madera del año anterior. Los cortes se curan por tres días a la sombra para ser plantados posteriormente. Los árboles propagados por este método generan un sistema radicular mucho más reducido que el generado a partir de semillas, lo que puede ser una limitante en regiones áridas y semiáridas (Pérez *et al.*, 2010a). Estudios realizados en Guatemala por el INCAP (2008) hacen referencia a la utilización de brotes de 1.6-2 metros de largo, con 3.8–5.0 cm de diámetro y una profundidad de siembra de entre 15-20 cm para su utilización en cercos vivos. Pero, si el objetivo es generar plántulas en bolsas se recomienda utilizar estacas de 2.5 cm de diámetro y una longitud de 30 cm, el corte debe ser a la altura de una yema y tener los viveros a media sombra.

### **Micropropagación**

Actualmente la propagación *in vitro* es una herramienta fundamental en los programas de mejoramiento genético, debido a que nos permite obtener una gran cantidad de plantas a bajo costo. Además de que podría ser una buena opción para la producción industrial de metabolitos secundarios. Sin embargo, existen muy pocos registros en la literatura sobre el cultivo de tejidos de *M. oleifera*, donde se especifiquen los protocolos a seguir.

Silva *et al.* (2008) mencionan que los segmentos de hoja tienen menor contaminación y oxidación. Para la desinfección de los segmentos de hojas se recomienda hipoclorito de sodio al 1.0, 1.25 o 2.0% y los medios  $\frac{1}{2}$  MS y 0 MS mostraron un mayor porcentaje de germinación (54.17%) en las semillas.

En un estudio realizado por Saini *et al.* (2012) para una rápida propagación clonal de *M. oleifera* (Variedad PKM-1) a partir de secciones nodales, encontraron que al adherir Benciladenina (BA) a 4.44 mM producían en promedio de  $9.0 \pm 1.0$  brotes axilares por explante después de 15 días de la inoculación. El enraizamiento del cultivo *in vitro* individual fue máximo (100%) en el medio que

contenía indol-3-acético (IAA) a 2.85 mM junto con el ácido indol-3-butírico (AIB) a 4.92 mM. El 80 por ciento de las plantas enraizadas sobrevivieron después de ser trasplantadas a macetas y tenerlas sombreadas 15 días en invernadero, para posteriormente ser expuestas a condiciones ambientales. Adicionalmente encontraron que las plantas contenían 13.2 y 14.7% mayor cantidad de  $\alpha$ -tocoferol y carotenoides totales, con respecto a las plantas testigo.

### **Número Cromosómico**

En la literatura el número cromosómico de *M. oleifera* se basa normalmente en la cita de Ramachandran *et al.* (1980) donde mencionan que la especie es diploide  $2N = 2X = 28$  cromosomas, pero ellos a su vez citan a Patel y Narayana (1937), quienes en su publicación reportan a *Moringa pterygosperma* Gaertn con  $N = 14$  cromosomas. Sin embargo, este último reporte no fue conducido de acuerdo a los pasos contemplados en el método científico. Estudios meióticos confirman el número cromosómico de  $2N = 2X = 28$  (Mendioro *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2011). En otro estudio se reporta la presencia de aneuploides  $N = 11$  (Gill *et al.*, 1985 citado por Takhtajan, 2009). Debido a sus propiedades, la moringa actualmente es una especie que ha cobrado gran importancia, pero los estudios se han centrado principalmente en análisis bromatológicos, dejando a un lado estudios básicos como los citológicos, que aportan información necesaria en un Programa de Mejoramiento Genético para la generación de nuevas variedades, que permita explotar el potencial genético de la especie.

### **Variedades**

En un estudio por Muluvi *et al.* (2004) sobre la forma de polinización de *M. oleifera* utilizando AFLP, encontraron que el 74% de las semillas provienen de polinización cruzada y el 26% a través de autofecundación. En otro estudio realizado en la India sobre la diversidad genética de 300 genotipos de *M. oleifera* con marcadores morfológicos y SSR, identificaron que existe una gran diversidad en el germoplasma de la India. Apoyando la idea de que la distribución de

materiales se ha realizado en forma de esquejes, semillas y/o altas tasas de flujo genético. Además de que fundamenta la teoría de que *M. oleifera* se originó en el norte de la India y se diversificó al ser introducida en el sur del país (Ganesan *et al.*, 2014).

Para las siembras comerciales se recomienda el uso de variedades mejoradas que sean homogéneas y que permitan la producción intensiva del cultivo, además de la mecanización del mismo, para el ahorro de costos de producción. Actualmente se cuenta con pocas variedades comerciales dentro del mercado.

Jaffna es una variedad del sur de la India que produce frutos de 6-90 cm de longitud, con una pulpa suave y de buen gusto. Chavakacheri murunga es un tipo de Jaffna pero produce frutos de 90-120 cm. Chemmurunga, es una variedad con frutos de color rojo en la punta y está en floración durante todo el año, tiene altos rendimientos de frutos. Otras variedades conocidas en la India son Palmurungai, que tiene una pulpa espesa con sabor amargo y Kodaikalmurungai, que produce frutos cortos de 15-23 cm (Ramachandran *et al.*, 1980).

Periyakulam 1 (PKM-1) y Periyakulam 2 (PKM-2) variedades con altos rendimientos, fueron desarrolladas por la Tamil Nadu Agricultural University a través del Horticultural College & Research Institute de Periyaculam. Moringa anual PKM-1 se lanzó al mercado en 1989, es un híbrido que se generó a través de la selección de líneas puras, su propagación se realiza principalmente por semilla, las vainas son de 75 cm de largo con un peso promedio de 150 gr. Produce 218 frutos por árbol, con un rendimiento de 58 ton ha<sup>-1</sup> y el tiempo de cosecha es de 7-8 meses posteriores a la siembra. Moringa anual PKM-2 fue liberada en el año 2000, este híbrido se obtuvo de la cruce de dos líneas MP 31 y MP 28, y seleccionada por el método de líneas puras. Los rendimientos de este híbrido son superiores a los de PKM-1, produce frutos de 125 cm de longitud, con 280 gr de peso por fruto y 220 frutos por árbol, lo que genera rendimientos de 98

ton ha<sup>-1</sup>, cosechándose 7 a 8 meses posteriores a la siembra. El 70% de pulpa en los frutos tiene buena calidad de cocción.

La empresa Ancient Green Greenfields Pvt. Ltd. (AGF) en el sur de la India ofrece en su página web la venta comercial de semilla de moringa variedad PKM-1 y MS01. La primera variedad la tienen descrita con las mismas características que la Tamil Nadu Agricultural University. En cuanto a la variedad MS01 las características que destacan son: el alto rendimiento, calidad superior, alta tasa de germinación, excelente pureza física, variedad original y de primera.

GKVK-1, GKVK-2 y GKVK-3, estas variedades fueron desarrolladas por la University of Agricultural Sciences, Bangalore. Son variedades de tallos pequeños, con una altura de 2-2.5 m. Normalmente presentan rendimientos de 120 - 200 frutos por árbol. Dhanaraj es una variedad desarrollada por la University of Agricultural Sciences, Dharwad. Generalmente comienza a producir entre los 9-10 meses, los árboles normalmente producen de 150-200 vainas, que presentan una longitud de entre 35 a 40 cm (Peter, 2008). Algunas otras variedades que se encuentran disponibles en la India son: Anupama, Jaffna Melanor, Saragva, Puna Murungai, Saragvi, KM 1, KDM 1, Konkan Ruchira y Rohit 1 (Saha *et al.*, 2012).

En México hay pocas variedades registradas de moringa. La Fundación Produce Sinaloa, A. C. cuenta con tres variedades de moringa, denominadas Culiacán, Cajeme y UAS. Pero de las tres sólo describen a la variedad Culiacán, como un material que posee una tasa rápida de crecimiento, alta resistencia a plagas y enfermedades, así como tolerancia a la sequía; produciendo dos o tres cosechas de semilla anuales (Pérez *et al.*, 2010b).

En la Universidad Autónoma de Nuevo León se presentan dos variedades denominadas Vaina Larga (VL) y Vaina Corta (VC), de las que no existe información sobre el método de obtención, ni descripción de sus características morfológicas, fisiológicas, etc. (Espinoza *et al.*, 2015).

### **Plagas y Enfermedades**

En la India de donde es originaria la moringa sufre el ataque de algunas plagas que pueden ocasionar serios problemas al cultivo. Dentro de la recopilación que hace Parrotta (2009) podemos encontrar la oruga de la corteza *Indarbela quadrinotata*, la oruga peluda *Eupterote molifera*, la oruga verde *Noorda blitealis* y los gusanos de las yemas o brotes *N. moringae*. Además de *Tetragonia siva*, *Metanastia hyrtaca*, *Heliothis armígera* y *Helopeltis antonii* Sign. (Lepidoptera); un pulgón, *Aphis caraccivora*; las cochinillas: *Ceroplastodes cajani* y *Diaspidotus sp.*; el barrenador del tallo *Indarbela tetraonis* (Moore) y *Diaxenopsis apomecynoides* y una mosca de la fruta *Gitonia sp.*

En Sinaloa, México reportaron el ataque de hormigas *Atta spp.*, gusano cogollero *Heliothis zea*, peludo *Estigmene acrea* y medidor *Trichoplusi ni*. Además de otros menos comunes que atacan tanto en primavera como en invierno, como el gusano barrenador del tallo *Diatraea sp.* y mosquita blanca *Bemisia sp.* (Pérez *et al.*, 2010b). En un estudio realizado en el sub-trópico veracruzano reportan que moringa fue severamente afectada por hormigas arrieras (*Atta mexicana* Smith), que defoliaron total y repetidamente algunas plantas (Valdés *et al.*, 2014).

No existen reportes de enfermedades de importancia económica, pero de acuerdo a Ramachandran *et al.* (1980) *Diplodia sp.* causa daños menores pudriendo la raíz. Otros patógenos presentes son *Cochliobolus hawaiiensis* que causa la pudrición del fruto y *Leveillula taurica* un moho polvoriento (Parrotta, 2009). El hongo *Phytophthora sp.* que produce pudrición de tallo y raíz, pueden



afectar a las plántulas de moringa si no se controlan los niveles de humedad (Pérez *et al.*, 2010b). Trabajos realizados en Cuba identificaron la presencia de *Colletotrichum dematium* y *Fusarium solani*, organismos que son asociados a diversos síntomas de enfermedades como (manchas y clorosis de las hojas, manchas y necrosis de los tallos, marchitez y muerte) en las plántulas de *M. oleifera* (Lezcano *et al.*, 2014).

## Contenido Nutricional

### Macronutrientes y Micronutrientes

El contenido de minerales de *M. oleifera* es una fuente de aportación muy buena y de bajo costo. Foidl *et al.* (2001) reportan el siguiente contenido nutricional.

Cuadro 1. Contenido de minerales de las hojas de moringa de tres procedencias.

| Mineral                               | Nicaragua | India  | Nigeria |
|---------------------------------------|-----------|--------|---------|
| <b>Macro-elementos</b>                |           |        |         |
| (g kg <sup>-1</sup> de materia seca)  |           |        |         |
| Calcio                                | 17.50     | 26.40  | 19.90   |
| Fósforo                               | 1.16      | 1.36   | 1.22    |
| Magnesio                              | 0.11      | 0.11   | 0.11    |
| Sodio                                 | 1.16      | 2.73   | 2.61    |
| Potasio                               | 19.10     | 21.70  | 18.40   |
| <b>Micro-elementos</b>                |           |        |         |
| (mg kg <sup>-1</sup> de materia seca) |           |        |         |
| Hierro                                | 582.00    | 175.00 | 347.00  |
| Manganeso                             | 47.10     | 51.80  | 113.90  |
| Zinc                                  | 13.50     | 13.70  | 24.20   |
| Cobre                                 | 11.20     | 7.10   | 10.40   |

Las hojas frescas presentan cuatro veces el calcio de la leche y tres veces el potasio del plátano (Mahmood *et al.*, 2010). Además, el contenido de

micronutrientes en las hojas secas de *M. oleifera* es aún mayor, contiene 17 veces más calcio que la leche, 15 veces el potasio de los plátanos y 25 veces el hierro de las espinacas, además de cromo, cobre, magnesio, manganeso, fósforo y zinc (Ashfaq *et al.*, 2012). La composición bromatológica de la biomasa comestible de especies no leguminosas, dio como resultado que *M. oleifera* presenta el (2.60%) de nitrógeno no proteico, fósforo (0.20%), potasio (2.65%), sodio (0.24%), calcio (3.10%) y magnesio (1.94%). El INCAP (2008) reporta los siguientes contenidos nutricionales.

Cuadro 2. Resultados promedio de análisis de minerales en Moringa.

| Mineral             | Hojas frescas | Frutos | Semillas | Vainas secas | Vainas frescas |
|---------------------|---------------|--------|----------|--------------|----------------|
| Calcio (mg/100 gr)  | 22.32         | 2.10   | 3.40     | 6.20         | 1.00           |
| Potasio (mg/100 gr) | 11.84         | 12.80  | 18.30    | 27.50        | 9.40           |
| Hierro (mg/100 gr)  | 24.26         | 16.00  | 7.10     | 5.40         | 1.00           |

### **Aminoácidos**

Los aminoácidos son indispensables para la síntesis de proteínas en los diferentes órganos del cuerpo. Se conoce que la calidad de la proteína es medida con base en la cantidad y tipo de aminoácidos presentes. Los aminoácidos esenciales son aquellos que el cuerpo no puede sintetizar por lo que necesita consumirlos en su dieta. Se ha demostrado que ocho de los veinte aminoácidos, se les ha catalogado como esenciales para el adulto humano (fenilalanina, triptófano, metionina, lisina, leucina, isoleucina, valina y treonina). Un noveno aminoácido, la histidina, se requiere para el crecimiento y es esencial para bebés y niños, debido a que no lo pueden sintetizar.

Estudios realizados han demostrado que las hojas y semillas de la moringa contienen todos los aminoácidos esenciales, incluyendo algunos como la arginina y la histidina, que se encuentran generalmente en proteínas de origen animal, desempeñando un papel esencial para el crecimiento y desarrollo de los niños.

Los aminoácidos que contienen azufre, también se les puede encontrar en una cantidad significativa. Esto cobra más relevancia en los países en vías de desarrollo donde una parte de la población no tiene acceso a la proteína de origen animal (Anhwange *et al.*, 2004; Ashfaq *et al.*, 2012; Foidl *et al.*, 2001; Mahmood *et al.*, 2010; Martín *et al.*, 2013; Olson y Fahey, 2011). La presencia de aminoácidos esenciales en las hojas y vainas de moringa, tales como la metionina, cisteína, triptófano y lisina; la convierten en un suplemento dietético ideal para el combate de la desnutrición en zonas de alta marginación (Makkar y Becker, 1996).

Makkar y Becker (1996) reportan que el contenido de aminoácidos de las hojas no extraídas presentó un resultado menor que el de las hojas extraídas, esto debido a la presencia de una cantidad mayor de nitrógeno no proteínico en las hojas no extraídas, 4.7 y 2.7% respectivamente. Los aminoácidos categorizados como esenciales presentan una mayor proporción que las concentraciones recomendadas por la FAO/OMS/ONU para niños de 2 a 5 años de edad (Cuadro 3). Se analizó la composición de aminoácidos en las semillas de tres especies donde encontraron que *M. oleifera* es una buena fuente de aminoácidos esenciales para el humano y los animales (Anhwange *et al.*, 2004).

## **Proteínas**

La moringa es un grupo multivariado, lo que origina diversos resultados en cuanto al contenido de proteína. El contenido de proteína cruda de *M. oleifera* de hojas extraídas y no extraídas fue 43.5 y 25.1% respectivamente (Makkar y Becker 1996). La proteína cruda de las hojas de moringa de tres procedencias fue de 25.1, 26.4 y 29.0%, mientras que de los frutos obtuvieron el 20.7% (Foidl *et al.*, 2001). Las semillas también son una fuente de proteína, Anhwange *et al.* (2004) reportaron que presenta  $40.31 \pm 1.63\%$ . En la composición fitoquímica de seis especies no leguminosas en Venezuela, *M. oleifera* presentó el 18.82% de proteína cruda (García *et al.*, 2006).

Cuadro 3. Composición de Aminoácidos de *Moringa oleifera*.

| Aminoácido    | Hojas extraídas <sup>1</sup> |         | Hojas no extraídas <sup>1</sup> |         | Proteína de ref. FAO <sup>1</sup><br>g/16g N | Semillas <sup>2</sup><br>g/100g de pro. |
|---------------|------------------------------|---------|---------------------------------|---------|--|---|
|               | g/16g N                      | g/16g N | g/16g N                         | g/16g N |  |   |
| Lisina        | 6.61                         | 26.77   | 5.60                            | 14.06   | 5.80   | 3.21                                    |
| Leucina       | 9.86                         | 42.89   | 8.70                            | 21.84   | 6.60   | 5.74                                    |
| Isoleucina    | 5.18                         | 22.53   | 4.50                            | 11.30   | 2.80   | 4.01                                    |
| Metionina     | 2.06                         | 8.96    | 1.98                            | 4.97    | 2.50   | 1.00                                    |
| Cistina       | 1.19                         | 5.18    | 1.35                            | 3.39    | 2.50   | 2.09                                    |
| Fenilalanina  | 6.24                         | 27.14   | 6.18                            | 15.51   | 6.30   | 4.24                                    |
| Tirosina      | 4.34                         | 18.88   | 3.87                            | 9.71    | 6.30   | 2.37                                    |
| Valina        | 6.34                         | 27.58   | 5.68                            | 14.26   | 3.50   | 3.05                                    |
| Histidina     | 3.12                         | 13.57   | 2.99                            | 7.50    | 1.90   | 2.20                                    |
| Treonina      | 5.05                         | 21.97   | 4.66                            | 11.70   | 3.40   | 3.03                                    |
| Serina        | 4.78                         | 20.79   | 4.12                            | 10.34   | -  | 4.22                                    |
| Ác. Glutámico | 11.69                        | 50.85   | 10.22                           | 25.65   | -  | 14.43                                   |
| Ác. Aspártico | 10.60                        | 46.11   | 8.83                            | 22.16   | -  | 6.88                                    |
| Prolina       | 5.92                         | 25.75   | 5.43                            | 13.63   | -  | 2.09                                    |
| Glicina       | 6.12                         | 26.62   | 5.47                            | 13.73   | -  | 4.96                                    |
| Alanina       | 6.59                         | 28.67   | 7.32                            | 18.37   | -  | 3.22                                    |
| Arginina      | 6.96                         | 30.28   | 6.23                            | 15.64   | 1.10   | 8.00                                    |
| Triptófano    | 2.13                         | 9.26    | 2.10                            | 5.27    | -  | -                                       |

Fuente: <sup>1</sup>Makkar y Becker (1996); <sup>2</sup>Anhwange *et al.* (2004).

INCAP (2008) reporta el porcentaje de proteína de diferentes partes de la planta: las hojas frescas tienen 5.52%, frutos 7.1%, semillas 17.5%, frutos secos 20.5%, frutos frescos 5.6% y la harina hecha con hojas 33.50 ± 1.10%. El valor nutricional de moringa comparado con otros alimentos por cada 100 gr de parte comestible, mostró que moringa presenta 6.6 gr de proteína vs 3.2 gr que contiene la leche de vaca (Mahmood *et al.*, 2010). Los análisis del contenido proteínico de las hojas secas muestran que hasta el 30% de su peso está formado por proteínas y que la mayor parte de ésta es asimilable (Olson y Fahey,

2011). El contenido de proteína de las hojas secas es alto, entre 20 a 35% (Paliwal *et al.*, 2011a).

## **Vitaminas**

Con base en estudios realizados, las hojas de moringa son una fuente rica en vitaminas y provitaminas. Moringa se encuentran entre las mejores verduras tropicales perennes, al ser una fuente de nutrientes y vitaminas en los países donde las deficiencias de vitaminas presentan graves problemas de salud pública (Dhakar *et al.*, 2011). El mayor número de resultados se centran en el contenido de vitamina A, que proporciona protección contra las enfermedades de la piel, ojos, corazón, malestares gastrointestinales y algunos otros padecimientos; y la vitamina C que proporciona una mayor inmunidad a diferentes enfermedades, incluyendo la gripe y el resfriado (Amjad *et al.*, 2015).

Las hojas frescas de *Moringa oleifera* contienen siete veces la vitamina C de las naranjas y cuatro veces la vitamina A de las zanahorias, mientras que las hojas secas contienen diez veces la vitamina A de las zanahorias y la vitamina C se reduce a la mitad (Mahmood *et al.*, 2010). Además, la administración de moringa parece ser más que suficiente para contrarrestar las deficiencias de vitamina A y con un menor costo del acetato de vitamina A. Fuglie (2001) hace referencia al valor nutritivo de cada 100 gramos de proporción comestible de vainas, hojas frescas y harina de hojas secas (Cuadro 4). Análisis bromatológicos comparativos de la planta sembrada mediante tres factores realizados por Del Toro *et al.* (2011) demuestran que *M. oleifera* conserva e incluso supera las propiedades nutricionales de origen, a través de procesos técnicos de siembra en condiciones controladas (Cuadro 5).

Cuadro 4. Valor nutritivo por cada 100 gr de vainas, hojas frescas y harina de hojas secas de *M. oleifera*.

| Vitamina                      | Vainas | Hojas  | Harina de hojas |
|-------------------------------|--------|--------|-----------------|
| A - $\beta$ -Caroteno (mg)    | 0.11   | 6.80   | 16.30           |
| B - Colina (mg)               | 423.00 | 423.00 | -               |
| B1 - Tiamina (mg)             | 0.05   | 0.21   | 2.64            |
| B2 - Riboflavina (mg)         | 0.07   | 0.05   | 20.50           |
| B3 - Ácido nicotínico (mg)    | 0.20   | 0.80   | 8.20            |
| C - Ácido ascórbico (mg)      | 120.00 | 220.00 | 17.30           |
| E - Acetato de tocoferol (mg) | -      | -      | 113.00          |

Fuente: Fuglie (2001).

Cuadro 5. Comparación del análisis bromatológico de tres métodos de siembra: testigo, químico y orgánico.

| Vitamina | Testigo | Químico | Orgánico |
|----------|---------|---------|----------|
| C (mg)   | 170.00  | 174.00  | 188.00   |
| A (mg)   | 2.80    | 3.24    | 2.00     |
| B 1 (mg) | 1.04    | 0.84    | 0.89     |
| B 2 (mg) | 3.96    | 3.60    | 3.20     |

Fuente: Del Toro *et al.* (2011).

### **Antioxidantes**

Dentro del proceso de oxidación generalmente se producen radicales libres, que a su vez generan reacciones en cadena que dañan a las células. Los antioxidantes normalmente son moléculas que tienen la capacidad de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas. El uso de conservadores en los alimentos generalmente se utiliza para que las grasas poliinsaturadas como los aceites vegetales se oxiden (arrancien) más lentamente. Moringa ofrece antioxidantes a partir de los cuales se podrían generar conservadores naturales alternativos al BHA y BHT (Olson y Fahey, 2011).

La concentración de cistina en semillas de *M. oleifera* es de 2.09 g/100g de proteína. Al ser un aminoácido que contiene azufre, actúa como antioxidante y

protege el cuerpo de la radiación, la contaminación, desactivación de radicales y neutralización de toxinas (Anhwange *et al.*, 2004). Un estudio realizado en India encontró que el porcentaje de inhibición de radicales en 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) fue de 79, 82 y 86 % en tres diferentes extractos de hojas de *M. oleifera* (Elangovan *et al.*, 2014). La actividad antioxidante obtenida contra el DPPH del extracto representó un  $75 \pm 0.04\%$  de captación de radicales, comparado con el galato de propilo el cual presentó un  $88 \pm 0.07\%$ . Además de que se recomienda la utilización de los extractos en la ayuda y/o complementación de terapias que involucran enfermedades producidas por radicales libres como el cáncer, diabetes, inflamación, etc. (Abass *et al.*, 2015).

### **Componentes Anti-nutricionales**

De acuerdo a Tacon (1995) la presencia de factores anti-nutricionales en los alimentos vegetales es un factor limitante para la utilización de grandes cantidades de algunas especies. Existen cuatro grupos principales de factores anti-nutricionales contenidos en los productos vegetales: proteínas (inhibidores de proteasa y hemaglutininas); glucósidos (agentes causantes del bocio, cianógenos, saponinas y estrógenos); fenoles (gosipol y taninos); y el último grupo calificado como varios (anti-minerales, anti-vitaminas, anti-enzimas, alérgenos de los alimentos, carcinógenos microbianos/vegetales y aminoácidos tóxicos).

En la evaluación química de seis especies forrajeras no leguminosas, encontraron que las hojas y brotes de *M. oleifera* tuvieron 3.52% de polifenoles totales, 0.90% de taninos que precipitan proteína, 1.56% de taninos condensados y de alcaloides el 0.07% (García *et al.*, 2006).

Las concentraciones de factores anti-nutricionales en *M. oleifera* generalmente se presentan en bajas cantidades, aunque las semillas presentan glucosinolatos (65.5  $\mu\text{mol/g}$  de materia seca), fitatos (41 g/kg) y actividad de

hemaglutinación. Por su parte las hojas tienen cantidades considerables de saponinas (80 g/kg), además de baja cantidad de fitatos (21 g/kg) y taninos (12 g/kg) (Ferreira *et al.*, 2008).

Torres *et al.* (2013) indican que el principal factor anti-nutricional proteínico de *M. oleifera* es el inhibidor de la tripsina, donde detectaron diferentes contenidos de unidades inhibitorias de tripsina dentro de extractos acuosos y etanólicos de diferentes partes de la planta (Cuadro 6).

Aunque están presentes algunos factores anti-nutricionales en la moringa, el alto contenido en proteínas, lípidos y el azufre que contienen los aminoácidos potencializan el uso *de esta planta* en la alimentación (Ferreira *et al.*, 2008).

Cuadro 6. Contenido de inhibidores de tripsina (CIT).

| Muestra | Extracto  | CIT/mg de proteína |
|---------|-----------|--------------------|
| Hoja    | Agua      | 712 ± 24           |
| Tallo   | Agua      | 318 ± 6            |
| Raíz    | Agua      | 578 ± 96           |
| Corteza | Agua      | 352 ± 7            |
| Hoja    | Etanólico | 432 ± 10           |
| Tallo   | Etanólico | 718 ± 178          |
| Raíz    | Etanólico | 1112 ± 248         |
| Corteza | Etanólico | 432 ± 10           |

Fuente: Torres *et al.* (2013).

### Usos de la Moringa

De acuerdo a Foidl *et al.* (2001) moringa es un árbol tropical de suma importancia en el mundo, debido a que casi todas las partes de la planta son aprovechables para la obtención de alimento o tienen alguna otra propiedad benéfica (Fig. 4).



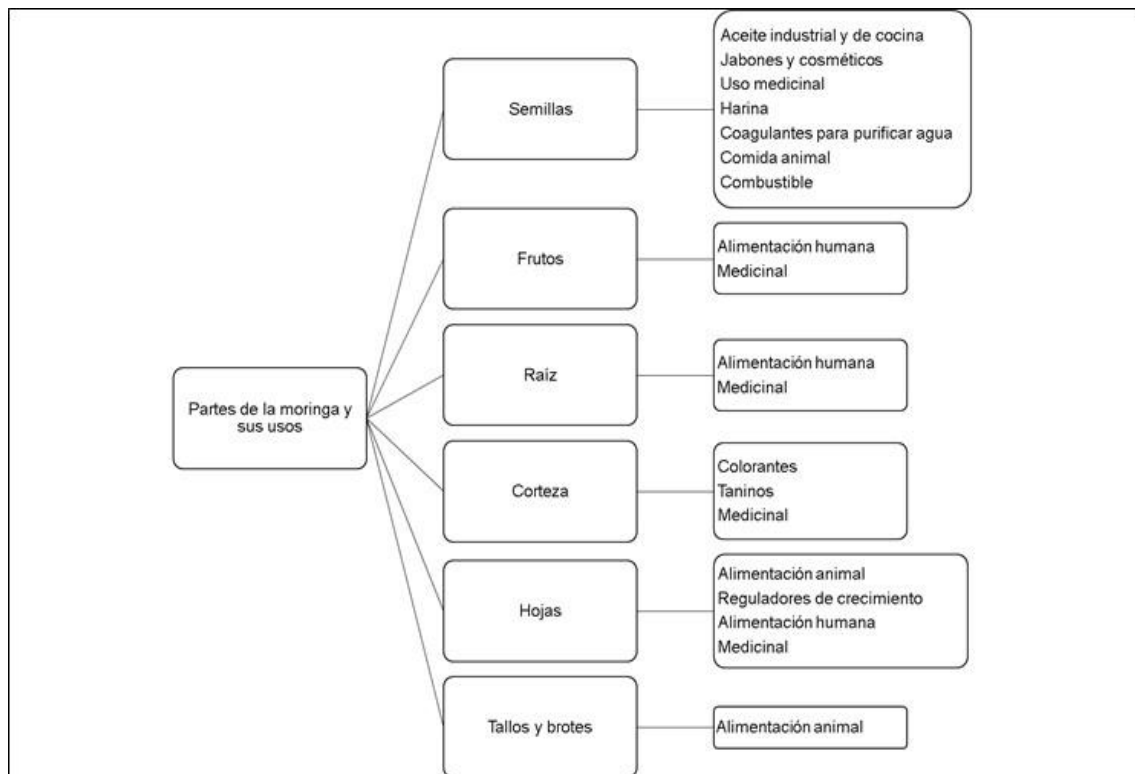


Figura 4. Usos principales de diferentes partes de *Moringa oleifera* (Foidl *et al.*, 2001).

### **Alimentación Humana**

*Moringa oleifera* a la fecha se considera la planta con más nutrientes que se halla descubierto, ya que proporciona una combinación de macro y micro-elementos, aminoácidos, proteínas, vitaminas, antioxidantes, antiinflamatorios y antibióticos utilizados en la alimentación y curación. El conjunto de propiedades antes mencionadas ha hecho que en algunas regiones sea llamado como “árbol de la vida” o “árbol milagroso”.

La mayoría de las partes de la planta tienen uso alimenticio y son apreciadas por su alto valor nutricional, lo que hace que sea altamente demandada para la elaboración de alimentos en diferentes países (Martín *et al.*, 2013). Las hojas jóvenes son comestibles, normalmente se comen como si fueran espinacas o son utilizadas en la elaboración de sopas y ensaladas; el consumo en fresco también se puede realizar al igual que otras verduras. Las

hojas también pueden secarse a la sombra y conservarse enteras o molidas. En esta última variante, el polvo permanece por meses sin perder sus propiedades, además de que resulta útil para ser usado como condimento o ser añadido a sopas, caldos y jugos, entre otros (Bonal *et al.*, 2012).

El sabor que presentan las flores preparadas evoca el sabor de algunos hongos comestibles. Los frutos, se consumen en estado juvenil debido a que al madurar se ponen muy fibrosos, siendo difícil su consumo. Normalmente se consume como si fuera frijol ejotero y tienen un sabor similar al de los espárragos. El consumo de semillas puede ser en verde o en seco. En el primer caso las semillas se comen verdes antes de que cambien a amarillo. Para su utilización primero se hierven por unos minutos para retirar la cáscara que tiene un sabor amargo. En el caso de las semillas secas, se pueden preparar como los chícharos, otra forma de consumirlas es freírlas o tostarlas, además de que se puede elaborar una harina para salsas, tortillas y panes. Las raíces de las plantas jóvenes son utilizadas como condimento picante, ya que su sabor es parecido al rábano. La resina de los troncos también puede utilizarse para obtener salsas picantes (Foidl *et al.*, 2001; Martín *et al.*, 2013).

Por sus características, la moringa puede utilizarse en la alimentación de comunidades con mediana y alta pobreza en México y otros países de América Latina (Olson y Fahey, 2011). Organizaciones no gubernamentales a nivel mundial mencionan que la moringa es una alternativa para tratar la desnutrición de niños y madres lactantes, aunado a la falta de alimentos en los países pobres. Dentro de las organizaciones no gubernamentales sobresalen tres que han defendido a la moringa como una nutrición natural para los trópicos: “Trees for Life”, “Church World Service” y “Educational Concerns for Hunger Organization” (Ashfaq *et al.*, 2012; Paliwal *et al.*, 2011a).

En Guatemala se llevó a cabo un proyecto extenso sobre el uso de la moringa en la alimentación, donde determinaron el uso potencial de hojas, vainas

y frutos para su utilización en la elaboración de alimentos nutricionalmente mejorados, para complementar la alimentación de poblaciones con alta vulnerabilidad alimentaria y nutricional. Dentro de las preparaciones tradicionales adicionadas con harina de moringa se determinó que las más aceptadas son el tamalito de moringa, seguido de los frijoles y la sopa de arroz con moringa (INCAP, 2008).

### **Alimentación Animal**

El alto valor nutricional y los excelentes rendimientos de biomasa, hacen de la moringa un recurso importante en los sistemas de producción pecuaria, para la alimentación animal (Pérez *et al.*, 2010a). En un estudio realizado en Venezuela concluyen que la moringa es una importante fuente de forraje, dado sus considerables valores de proteína cruda, minerales, poca presencia de compuestos pro-tóxicos y relativamente bajas concentraciones de posibles factores anti-nutritivos (García *et al.*, 2006).

Evaluaciones con diferentes densidades de siembra, determinaron que un millón de plantas ha<sup>-1</sup> es la densidad óptima para la producción de biomasa fresca, materia seca y proteína, además de menores pérdidas de plantas después de los cortes, costo de siembra, manejo del corte y control de malezas en condiciones agroclimáticas óptimas (Foidl *et al.*, 1999; Foidl *et al.*, 2001).

Foidl *et al.* (1999) recomiendan cortar los rebrotes en intervalos de entre 35 y 45 días, en función de las condiciones de manejo del cultivo, que puede alcanzar una altura de 1.2 a 1.5 m. Sin embargo, Reyes (2004) hace referencia que el primer corte se debe efectuar a los cinco o seis meses después de la siembra y los cortes posteriores cada 45 días en la época de lluvia, y cada 60 días en la estación poco lluviosa. La mejor altura de corte para esta planta debe ser entre 20 - 30 cm del suelo (Padilla *et al.*, 2012).

En un ensayo realizado con dos grupos de bovinos alimentados con pasto recién cortado (grupo 1) y con moringa picada de 35 días (grupo 2), se encontró que el grupo alimentado con moringa obtuvo ganancias de peso de entre 1150 hasta 1450 gr/día, vs 750 – 980 gr/día en el segundo grupo; el aumento de peso promedio alcanzado del grupo 1 fue de 1250 gr/día, mientras que en el grupo 2 sólo alcanzó 950 gr/día (Foidl *et al.*, 2001).

Los mejores rendimientos de digestibilidad y ganancia de peso en ovinos se obtuvieron, cuando la moringa se suministró en una proporción de 40% en la dieta. La digestibilidad de materia orgánica fue de 62% vs 68% de la alfalfa; mientras que la digestibilidad de proteínas fue de 75% vs 72.3% de la alfalfa (Pérez *et al.*, 2010b).

La harina de hojas de moringa puede sustituir hasta en un 20% a la proteína de la harina de sardina, sin afectar significativamente el crecimiento, factor de conversión alimenticia y supervivencia de juveniles de tilapia. Además, se determinó que la digestibilidad de la proteína de este ingrediente fue de  $89.1 \pm 2.9\%$  (Rivas *et al.*, 2012).

### **Aplicaciones Farmacológicas**

El uso potencial de algunas plantas ha tenido un avance significativo en todo el mundo debido a sus actividades farmacológicas, baja toxicidad y la viabilidad económica en comparación con las drogas sintéticas (Pracheta *et al.*, 2011). *Moringa oleifera* posee altos valores terapéuticos y farmacológicos, por lo que su consumo en la dieta podría reducir el riesgo de enfermedades degenerativas (Paliwal *et al.*, 2011b).

En la medicina tradicional hindú casi todas las partes del árbol (raíz, corteza, goma, hojas, frutos (cápsulas), flores, semillas y aceite de semillas) se utilizan terapéuticamente (Ramachandran *et al.*, 1980). Entre los padecimientos que se han tratado se encuentra la ascitis, el reumatismo, mordeduras de animales

venenosos y la mejora funcional del sistema cardíaco (Parrotta, 2009). Algunos otros registros hablan sobre su utilización en el tratamiento de infecciones de la piel, anemia, ansiedad, asma, espinillas, impurezas de la sangre, bronquitis, catarro, congestión del pecho, cólera, conjuntivitis, tos, diarrea, infecciones de ojo y oído, fiebre, hinchazón, dolores de cabeza, presión arterial anormal, histeria, dolor en las articulaciones, granos, soriasis, trastornos respiratorios, escorbuto, dolor de garganta, esguinces, tuberculosis, para las lombrices intestinales, la lactancia, diabetes y el embarazo, además de tener compuestos antimicrobianos y anti-fúngicos (Nikkon *et al.*, 2003).

Abass *et al.* (2015) recomiendan la utilización de los extractos de moringa en la ayuda y/o complementación de terapias que involucran enfermedades producidas por radicales libres como el cáncer, diabetes, inflamación, etc. La medicina tradicional y muchos casos transmitidos verbalmente han ofrecido indicios de que la moringa puede desempeñar un papel clave en la prevención del cáncer, así como en terapias para su tratamiento. Desafortunadamente, mucha de la información sobre el efecto de las propiedades de la moringa en humanos no cuenta con evidencia apoyada en pruebas clínicas aleatorizadas y controladas con placebo, y tampoco se ha publicado en revistas científicas de alta circulación. Los estudios que carecen de comprobación son rechazados por la medicina moderna, por lo que las propiedades medicinales o nutricionales de la moringa no serán aceptadas por los médicos occidentales hasta que se lleven a cabo estudios de este tipo. En muchos casos, los estudios se han basado en investigaciones *in vitro* o bien han empleado animales como objeto de estudio (Olson y Fahey, 2011).

### **Tratamiento de Aguas**

*Moringa oleifera* es utilizada ampliamente por su poder de eliminar la turbidez del agua a través de floculantes o aglutinantes que contiene en la semilla (Pérez *et al.*, 2010a), además de que se le atribuyen propiedades antimicrobianas

y antifúngicas (Nikkon *et al.*, 2003), frente a bacterias mesófilas, hongos mesófilos y coliformes (Alo *et al.*, 2012), lo que proporciona evidencias sobre su uso en la purificación del agua. Los desechos del prensado de las semillas para obtener el aceite también pueden ser utilizados para este propósito (Olson y Fahey, 2011). El uso de los floculantes de las semillas para la purificación de aguas resulta ser una opción económicamente atractiva en países en vías de desarrollo donde tener acceso al agua purificada representa un alto costo, además de reducir de manera considerable la transmisión de enfermedades por medio del agua (Alo *et al.*, 2012). También son utilizados en la industria de pulpas y jugos para flocular y sedimentar fibras; en la industria cervecera se emplea para sedimentar las levaduras eliminando la turbidez y dándole brillo a la bebida (García, 2003).

En una investigación realizada en Sudan con aguas turbias del Nilo, se encontraron resultados de que con dos horas de tratamiento se logró hasta un 99.5 % de reducción de la turbidez y la eliminación de hasta el 99.99 % de las bacterias (Madsen *et al.*, 1987). Las semillas de *M. oleifera* demostraron su efectividad como coagulante al ser comparadas con la alúmina (sulfato de aluminio), lo anterior basado en resultados de los parámetros medidos de: pH, alcalinidad, turbiedad, color, DQO, contenido de metales y la alta remoción de coliformes. La mejor dosis obtenida en la clarificación de aguas de altas y medias turbiedades se encuentra alrededor de los 60 a los 70 mg/L (Muñoz *et al.*, 2008). Estudios realizados en Nigeria con agua del río Onuebonyi, demostraron que el sulfato de aluminio no tiene efecto significativo sobre la concentración microbiana en el agua, mientras que la carga microbiana se redujo del 70-93.3% para las bacterias coliformes, de 93.7 - 98.3% para bacterias mesófilas y 97-100% para los hongos mesófilos con una concentración del 1 - 2%. El tratamiento al 1% con moringa y sulfato de aluminio redujeron su turbidez 62.5 y 75% respectivamente, pero sin haber cambios significativos de pH, conductividad y salinidad en la muestra con moringa, al mismo tiempo que es biodegradable y no presenta efectos tóxicos para la salud (Alo *et al.*, 2012).

## Agricultura

Las hojas tienen un efecto bactericida y fungicida contra *Phytium dabangemun*. Una semana antes de establecer los almácigos se puede aplicar un extracto acuoso de hojas y durante el crecimiento de las plántulas (INCAP, 2008). En la recopilación que hace Paiva *et al.* (2012) hacen referencia al uso de lectinas extraídas de las semillas del tipo WSMoL y cMoL en el control de *Aedes aegypti*, *N. corniger*, y *E. kuehniella* en donde tiene diferentes efectos sobre algunos estados larvales y de adultos.

Los extractos de etanol al 80% de las hojas contienen hormonas de crecimiento del tipo citoquininas, los cuales se diluyen en agua y pueden aplicarse en forma de spray. El extracto produce un aumento general en el rendimiento de entre 20 a 35%, con base en los resultados obtenidos del diámetro de tallo, número de nódulos, número de brotes, número de flores por panícula y número de frutos por panícula en cacahuate, cebolla, pimiento, soya, maíz, sorgo, café, té, chile, tomate, melón y frijol (Foidl *et al.*, 2001).

Fuglie (2000) hace referencia a la utilización de la moringa como abono verde, lo cual enriquece a los suelos agrícolas de una manera significativa. En este proceso primero se ara la tierra, luego se siembra la semilla a una profundidad de 1 a 2 cm a una distancia de 10 x 10 cm (1, 000,000 plantas ha<sup>-1</sup>) aunque puede ser mayor, la única restricción es el agua y los fertilizantes. Después de 25 días las plántulas son incorporadas al suelo con la ayuda del arado, a una profundidad de 15 cm.

La madera de moringa no tiene las características físico-mecánicas para ser considerada maderable, por lo que no es una especie productora de madera ni de leña. Pero al poder reproducirse por estacas y su rápido crecimiento, presenta buenas características como cerco vivo, ornamental y cortina rompevientos; además el árbol es un buen productor de néctar y polen, por lo que se puede considerar una planta melífera (García, 2003).

## **Industria**

Como se ha mencionado anteriormente *M. oleifera* tiene un multivariado número de usos comprobados y potenciales, su utilización en la industria no podía ser una excepción debido que día con día las empresas y sus consumidores buscan nuevos productos. Los derivados de la planta se usan en varios tipos de industrias, como la alimentaria, farmacéutica, cosmética y otras; en la elaboración de varios productos como: confites, derivados lácteos, alimentos enlatados, bebidas gaseosas, productos dietéticos, emulsiones, tabletas, grageas, jarabes, suspensiones, cremas, cintas pegantes, papel, tintas, pinturas, telas y metales (Pérez *et al.*, 2010a).

## **Cosmética**

De acuerdo a Villarreal y Ortega (2014) el aceite de las semillas de esta planta se ha utilizado comúnmente como tópico cutáneo desde la antigüedad hasta el presente. El aceite se utiliza en la fabricación de cosméticos y perfumes, por presentar una alta propiedad para retener y absorber sustancias volátiles (García, 2003). Las semillas de Moringa tienen proteínas específicas para la piel y el cuidado del cabello, este último ha resultado ser una solución innovadora y aceptada a nivel mundial (Paliwal *et al.*, 2011a). Estudios realizados por los Laboratoires Sérobiologiques determinaron dos nuevos ingredientes activos que presentan buenas propiedades debido a su bajo peso molecular (6.000 a 13.000 daltons) y su fuerte comportamiento catiónico. Puricare® un antiestresante y anticontaminación activa del cabello y Purisoft® un anticontaminante y purificante de la piel (Armand *et al.*, 2003).

Una comparación entre los aceites de semillas de *Moringa oleifera* y *Sclerocarya birrea*, mostró una marcada discrepancia en la composición de ácidos grasos y la estabilidad oxidativa. *Moringa oleifera*, obtuvo un índice de estabilidad del aceite (OSI) de 133 horas a 110 °C, mientras que *Sclerocarya*



*birrea* produjo 37 horas a 110 °C. Los resultados obtenidos se correlacionan con la composición de ácidos grasos de estos dos aceites. *Moringa* tiene menos de 1 % de poliinsaturados y *S. birrea* presentó 6.7 % de estos materiales oxidativamente inestables. Con base en estos resultados, los autores concluyeron que la estabilidad del aceite de *Moringa oleifera* es mucho mayor y presenta una mejor resistencia a la oxidación (Kleiman, *et al.*, 2008 citados por Villarreal y Ortega, 2014).

El aceite presenta un uso en masajes y aplicaciones de aromaterapia. Del mismo modo puede ser utilizado en el cuerpo y el cuidado del cabello como una crema hidratante y acondicionador de la piel. Otros usos incluyen la fabricación de jabón o su uso en preparaciones cosméticas como pinturas para los labios y cremas. La mantequilla de *Moringa oleifera*, es una fracción semisólida del aceite de moringa, y es utilizado en productos para bebés para el suavizado de la piel y con efectos relajantes (Dubey *et al.*, 2013).

## **Aceites**

En el Cuadro 7 se observan datos de que el aceite que se extrae de la semilla es de gran utilidad en la industria de maquinarias finas como los relojes, debido a que la oxidación es más lenta (Anwar y Bhangar, 2003), además de ser utilizado en la industria de pinturas para textiles (García, 2003; Olson y Fahey, 2011). El contenido de aceite de la semilla es de 42%, presentando un color amarillo brillante (Foidl, *et al.*, 2001).

Se utiliza como un aceite vegetal de cocina por su contenido de ácidos grasos saturados de aproximadamente el 13% y 82% de ácidos grasos insaturado. El nivel de ácido oleico es alto de aproximadamente el 70% (Foidl *et al.* 2001). La presencia de ácidos grasos saturados está compuesta por los ácidos palmítico, esteárico, araquídico y behénico. El ácido oleico es el principal ácido graso insaturado (67.9 - 70.0%), lo que es deseable en términos de nutrición y la estabilidad durante la cocción y fritura.

Cuadro 7. Determinación del estado de oxidación de los aceites de *M. oleifera*.

| Determinación  | <i>M. oleifera</i> | En la literatura |
|--|--------------------|------------------|
| $\epsilon_{1cm}^{1\%}(\lambda_{232})$                                  | 1.40 – 1.85        | 3.15             |
| $\epsilon_{1cm}^{1\%}(\lambda_{270})$                                  | 0.18 – 0.40        | 1.13             |
| Valor de peróxido (meq/kg de aceite)                                   | 0.53 – 0.80        | 1.80             |
| Valor de <i>p</i> -anisidina   | 0.95 – 1.62        | -                |
| Estabilidad a la oxidación, aceite no desgomado<br>Método Rancimat (h) | 9.76 – 10.3        | 36.80            |
| Estabilidad a la oxidación, aceite desgomado<br>Método Rancimat (h)    | 8.40 – 9.00        | 10.80            |

Fuente: Anwar y Bhanger, 2003.

Se utiliza como un aceite vegetal de cocina por su contenido de ácidos grasos saturados de aproximadamente el 13% y 82% de ácidos grasos insaturado. El nivel de ácido oleico es alto de aproximadamente el 70% (Foidl *et al.* 2001). La presencia de ácidos grasos saturados está compuesta por los ácidos palmítico, esteárico, araquídico y behénico. El ácido oleico es el principal ácido graso insaturado (67.9 - 70.0%), lo que es deseable en términos de nutrición y la estabilidad durante la cocción y fritura. Además de representar una fuente natural de ácido behénico útil en la industria cosmética. El aceite de semilla de *M. oleifera* se ha utilizado como un agente solidificante en margarinas y otros productos alimenticios que contienen grasa sólida y semisólida, eliminando los procesos de hidrogenación (Paliwal *et al.*, 2011a).

Un estudio realizado en Pakistán con 12 muestras de *M. oleifera* colectadas en sitios diferentes, se les examinó sus características físico-químicas de las semillas y el aceite. El contenido de aceite hexano-extraído varió de entre el 38 - 42%. Los resultados de los parámetros físicos y químicos del aceite extraído fueron los siguientes: índice de yodo, 68.0 - 71.80 g de I/100 g de aceite; índice de refracción de 1,4590 - 1,4625  $n_D$  40 °C; densidad (24 °C), desde 0.9036 hasta 0.9080 mg/ml; valor de saponificación, 180.60 - 190.50 mg de KOH/g de aceite; materia insaponificable de 0.70 - 1.10%; ácidos de 0.27 - 0.48 % en ácido oleico;

punto de humo 196 – 203 °C; color de 0.95 – 1.1 unidades rojas y 20.00 – 35.30 unidades amarillas. Los tocoferoles ( $\alpha$ ,  $\gamma$ , y  $\delta$ ) en el aceite eran de hasta 123.50 a 161.30, 84.07 a 104.00, y 41.00-56.00 mg/kg, respectivamente. También encontraron niveles de ácido oleico de hasta 78.59%, seguido de ácido palmítico, esteárico, behénico y ácido araquídico con niveles de hasta 7.00, 7.50, 5.99, y 4.21% respectivamente (Anwar y Bhanger, 2003).

## **Biodiesel**

El biodiesel es un combustible que se obtiene a partir de aceites vegetales, lo que representa una opción del uso de combustibles fósiles. Las semillas en su estado de madurez tienen un rendimiento de aceite de entre el 38-42% y un contenido de ácido oleico de más del 70% (Anwar y Bhanger, 2003), siendo mejor que el aceite de girasol. El biodiesel de moringa tiene mejores propiedades como el punto de turbidez, viscosidad cinemática y la estabilidad oxidativa en comparación con otros materiales de alimentación. Los ésteres metílicos (biodiesel) obtenidos a partir de aceite presentaron un alto índice de octanaje de aproximadamente 67, uno de los más altos encontrados para biodiesel (Rashid *et al.*, 2008). Por lo anterior se puede indicar que el aceite de *Moringa oleifera* podría ser una de las fuentes potenciales de biodiesel en el futuro, aunado a lo anterior esté biodiesel genera menores emisiones de CO, CO<sub>2</sub>, PM y HC en comparación con el diésel fósil (Azad *et al.*, 2015). Otra de las características es que el costo de procesamiento es menor en comparación a otros cultivos, produciendo una cantidad mayor de biodiesel y glicerina como subproducto. Por lo que el aceite de moringa se considera aún más sustentable que el de la planta de jatropha (Ashfaq *et al.*, 2012).

# **MATERIALES Y MÉTODOS**

## **Sitio Experimental**

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (Invernadero No. 1, Laboratorio de Citogenética y Laboratorio de Servicio de Semillas) ubicadas en Buenavista, Saltillo, Coahuila. Sus coordenadas geográficas son 25° 23' latitud norte y 101° 02' longitud oeste, a una altura de 1743 m.s.n.m.

## **Material Genético**

El material genético de moringa utilizado fueron las variedades Vaina Larga (VL), Vaina Corta (VC) y Sonora (S). Las primeras dos variedades fueron compradas comercialmente en la Universidad Autónoma de Nuevo León y la variedad Sonora fue donada al Dr. Jorge González Domínguez Profesor Investigador de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Además, cabe mencionar que en el capítulo de resultados y discusión a las primeras dos variedades se les nombrara como Cápsula Larga y Cápsula Corta, para no generar más confusión debido a que el fruto de la moringa es en realidad una cápsula y no una vaina como se reporta.

## **Caracterización de la Germinación**

Para la caracterización de la germinación se realizaron dos experimentos: de laboratorio e invernadero.

### **Experimento en Invernadero**

La siembra en el invernadero se realizó el día 4 de junio de 2015, en charolas de unícel de 60 cavidades y como sustrato peat moss. El sustrato se puso a capacidad de campo, y se colocó en las charolas, posteriormente se sembró una semilla por cavidad a una profundidad aproximada de 1 cm, y se cubrieron con una capa de peat moss.

De la variedad Vaina Larga y Vaina Corta se sembraron 60 semillas por cada variedad y de Sonora 49 semillas debido a la falta de semilla, usando una charola por variedad. Las charolas fueron puestas en el invernadero 1, donde se les proporcionaron riegos ligeros cada tres días.

### **Experimento en Laboratorio**

La prueba de germinación se realizó en papel de germinación, de acuerdo a las normas oficiales (ISTA, 1976). Las variedades Vaina Larga y Vaina Corta se sembraron en dos fechas (1 y 8 de junio de 2015) con ocho repeticiones, consistiendo cada una en un taco con 25 semillas.

Se trazó una línea horizontal a lo largo de la hoja de papel en la parte media, a partir de esta línea se trazaron líneas perpendiculares cada dos centímetros como lo marca la prueba de vigor de longitud media de plúmula. Posteriormente

se colocó cinta adhesiva de doble cara en la línea central. Se pasó hoja por hoja de papel en un recipiente con agua, con la finalidad de humedecerlas. Se colocaron 25 semillas en la parte media de la hoja de papel con el embrión orientado hacia la parte inferior de donde se trazaron las líneas, y se cubrió con una segunda hoja humedecida de la misma manera que la primera, y subsecuentemente se enrollaron para formar un taco marcándose en la parte superior del taco en el sentido en que se ubicó el embrión, para finalmente ajustarlos con ligas en ambos extremos para evitar que se desarmaran y se dispersaran las semillas. El mismo procedimiento se realizó en cada una de las repeticiones.

Se colocaron cuatro tacos por bolsa de polietileno, estas fueron identificadas con la variedad y fecha de siembra correspondiente, posteriormente se colocaron en una caja de cartón para mantenerlas en condiciones de oscuridad y en una cámara germinadora a una temperatura constante de  $26 \pm 1$  °C. Para conservar la humedad se aplicaron riegos ligeros con pizetas a los tacos cada tercer día.

## **Variables Evaluadas**

### **Invernadero**

#### **Altura de Planta (AP)**

Para evaluar esta variable se tomaron 10 plantas al azar por variedad, la altura de planta se midió desde el nivel del suelo (cuello de la raíz) hasta la parte superior (ápice de la última hoja) con una regla de 30 cm, por 13 días consecutivos. Las mediciones iniciaron 15 días después de la siembra (19 de junio de 2015).

## **Días a Emergencia (DE)**

Se contabilizaron los días a partir de la siembra hasta que inicio la emergencia de la plúmula del suelo. Se obtuvo la emergencia promedio en días.

## **Índice de Velocidad de Emergencia (IVE)**

El IVE es una prueba de vigor, ésta se obtuvo a través de los conteos diarios de plántulas emergidas por encima de la superficie del sustrato, considerando como primer día aquel en el cual apareció la primera plántula y hasta los 20 días posteriores. Para la obtención de este parámetro se utilizó la fórmula propuesta por Maguire (1962):

$$IVE = \sum \frac{NP}{D} + \dots \frac{NP}{D}$$

*Donde:*

*IVE = Índice de velocidad de emergencia*

*NP = Número de plántulas emergidas*

*D = Días después de la siembra*

## **Índice de Velocidad de Germinación (IVG)**

El IVG se determinó con el conteo diario del número de semillas germinadas. El cálculo del IVG se realizó de acuerdo a la fórmula propuesta por Maguire (1962):

$$IVG = \left( \frac{\sum D_i - D_j}{i} \right) (100)$$

*Donde:*

*IVG = Índice de velocidad de germinación*

*D<sub>i</sub> = Semillas germinadas en el día i*

*D<sub>j</sub> = Número de semillas germinadas en el conteo anterior al día*

*I = Número de días al conteo desde la siembra*

## **Laboratorio**

### **Porcentaje de Germinación (PG)**

La germinación de las semillas se evaluó en el laboratorio mediante un ensayo de germinación. El conteo se realizó al décimo día de la siembra, se clasificaron de acuerdo a plántulas normales, plántulas anormales y semillas sin germinar. Considerando como plántulas normales a todas aquellas que tenían sus estructuras esenciales (plúmula y radícula bien desarrolladas). Se consideraron como plántulas anormales, aquellas plántulas que presentaban alguna deficiencia en sus estructuras esenciales o que presentaban hojas cloróticas y se consideraron semillas sin germinar a las que no tuvieron desarrollo de ninguna de sus estructuras esenciales. Para el porcentaje de germinación



únicamente se utilizó el total de plántulas normales por repetición entre el número de semillas, los datos se transformaron a porcentajes.

### **Longitud Media de Plúmula (LMP)**

Esta variable se obtuvo en las plántulas clasificadas como normales a los diez días después de la siembra. La longitud de plúmula se midió tomando en cuenta las líneas trazadas en el papel de germinación. Se utilizó la siguiente fórmula para determinar la longitud media de la plúmula:

$$LP = \frac{(Nx1 + Nx3 + Nx5 + Nx7 + Nx9 + Nx11 + Nx13)}{n}$$

*Donde:*

*LP = Longitud media de plúmula*

*N = Número de plántulas*

*n = Número de semillas sembradas*

### **Longitud Media de Radícula (LMR)**

Para la evaluación de esta variable se utilizaron las plántulas clasificadas como normales, del total se seleccionaron al azar 15 plántulas por repetición, midiendo con una regla en centímetros.

### **Peso Seco Radicular por Plántula (PSRP)**

Las plántulas utilizadas para medir la longitud media de plúmulas fueron las mismas que se emplearon en esta variable. Se colectó el total de la radícula por repetición y se colocaron en bolsas de papel estraza perforado y puestos en una estufa a 66 °C por 24 horas. Posteriormente las muestras se colocaron por 20 minutos en una desecadora con gel de sílice; se utilizó una balanza analítica, para obtener el peso seco radicular, expresado en mg/planta con la siguiente fórmula:

$$PSRP = \frac{PSr * 1000}{PN}$$

*Donde:*

*PSRP = Peso seco radicular por planta*

*PSr = Peso seco radicular total*

*PN = Número de plántulas normales*

### **Número de Raíces Adventicias (NRA)**

Las plantas utilizadas para determinar su longitud fueron las mismas a las cuales se les contabilizó el número total de raíces adventicias o laterales de la raíz principal.

## **Análisis Estadístico**

La información obtenida de las variables estudiadas en los experimentos de laboratorio e invernadero, se sometieron a diferentes análisis estadísticos de acuerdo a las características de la variable. En los datos de porcentaje de germinación (PG), número de plántulas normales (PN), número de plántulas anormales (PA), número de plántulas normales más anormales (PNA), semillas sin germinar (SSG), longitud media de plúmula (LMP), longitud media de radícula (LMR), peso seco radicular por plántula (PSRP), número de raíces adventicias (NRA) y longitud media de plúmula (LMP) vs longitud media de raíz (LR) de ambas variedades, se utilizó una comparación de medias de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p= 0.05$  y  $0.01$ ). En el caso de la variable altura de planta (AP) se utilizó un diseño completamente al azar donde se analizaron los crecimientos de los días 1, 7 y 13.

## **Determinación del Número Cromosómico**

Para realizar la determinación del número cromosómico se utilizó semilla de las variedades Vaina Larga y Vaina Corta. El análisis mitótico fue realizado con la Técnica de “Estudio de cromosomas somáticos en ápices radicales de maíz, utilizando coloración con carmín propiónico” descrita por García (1990), a la cual se le hicieron dos modificaciones para adecuarla y poder usarla en la especie *M. oleifera*.

### **Siembra del Material**

Semilla de las dos variedades se sembraron el 26 de mayo de 2016 en cajas Petri utilizando papel filtro como sustrato. Se sembraron 25 semillas de cada variedad, estas se desinfectaron previamente con hipoclorito de sodio al 1%. Una vez tratadas las semillas se colocaron en tres cajas Petri distribuidas de la siguiente manera (10-10-5). Este mismo procedimiento se repitió con la otra variedad. Finalmente, se les aplicó una solución de captan para minimizar problemas de hongos. Las cajas Petri se colocaron en una germinadora a  $26 \pm 1$  °C en estado de oscuridad las 24 horas.

### **Recolección de Muestras**

Los ápices radiculares fueron recolectados entre 7:00 y 11:30 a.m. debido a que en pruebas preliminares se encontró que en esta hora había un mayor número de metafases, lo que facilitaría el conteo cromosómico. Los cortes se hicieron utilizando pinzas y bisturí cuando las raíces alcanzaron una longitud de 1–2 cm.

### **Pretratamiento y Fijación de la Muestra**

Algunos meristemas radiculares recibieron un pretratamiento y otros no. Este consistió en introducir los ápices radiculares en 8-hidroxiquinoleína al 0.04% durante una y dos horas en una estufa a una temperatura de  $26 \pm 1$  °C en oscuridad. Posteriormente los meristemas se fijaron en solución Farmer (3:1 de alcohol: ácido acético) por 24 horas. Los meristemas se colocaron de manera individual en tubos Eppendorf debidamente identificados.

## **Técnicas Aplicadas a las Muestras**

### **Coloración con Carmín en Ácido Acético**

Posterior a la fijación de los ápices, se procedió a lavar las raíces con agua destilada tres veces por un lapso de media hora cada enjuague. Una vez hecho esto, los ápices se colocaron en un frasco de vidrio al cual se le agregó colorante carmín disuelto en ácido acético al 45% hasta que cubriera la raíz, para posteriormente colocar el frasco sobre la llama de un mechero de alcohol durante siete segundos y retirarlo siete segundos más. Este procedimiento se repitió por siete veces procurando que a la hora de hervir el material no se saliera del frasco. Al concluir el meristemo se colocó en un tubo Eppendorf con colorante carmín nuevo y al finalizar se le agregó una gota de cloruro férrico amoniacal, dejando reposar las muestras por cinco días para que los cromosomas se tiñeran perfectamente. Cada vez que se procedía a hervir una nueva muestra radicular el colorante carmín se cambiaba al frasco donde se hervían las raíces.

### **Degradación con Papaína**

Una de las modificaciones que se realizó a la técnica de García (1990) fue tratar los ápices radiculares con un extracto de papaya, para ayudar a degradar la pared celular, facilitando la observación de los cromosomas. Esta modificación fue propuesta por la T. L. Q. Leticia Portos Gaona del laboratorio de Citogenética (Portos, 2016; Comunicación Personal).

Posterior a las 24 horas de la fijación las raíces, se les retiro el Farmer y se procedió a darles tres enjuagues de media hora cada uno, durante este tiempo de espera se preparó una solución de papaya en agua destilada. La técnica

consistió en colocar 100 gr de papaya en una licuadora y agregarle 20 ml de agua destilada. Una vez que se obtuvo una mezcla homogénea se procedió a filtrarla, con un papel filtro doblado sobre un embudo captando el líquido filtrado sobre un vaso de precipitado. Posteriormente al tercer enjuague se colocó una cantidad del extracto de papaya sobre el tubo Eppendorf que contenía la raíz, de tal manera que la cubriera por un lapso de media hora; transcurrido el tiempo se le dio un último enjuague de otra media hora con agua destilada. Al finalizar se le agregó colorante carmín a cada una de las muestras y una gota de cloruro férrico amoniacal. Las muestras se dejaron reposar por cinco días, para su posterior análisis.

### **Observación al Microscopio**

Para realizar las preparaciones, se colocó la raíz sobre un portaobjetos y se cortó de tal forma que sólo nos quedáramos con el meristemo para evitar tener en la muestra células especializadas. Se le agregó una gota de colorante carmín y con la ayuda de un bisturí se maceró, posteriormente con la ayuda de unas pinzas se retiró el material vegetal que era demasiado grande. Finalmente se colocó un cubreobjetos y se le dio un calentamiento directo a la muestra sobre un mechero para aplastarlo de manera uniforme. Las muestras se observaron en un microscopio Motic B3-220ASC con el objetivo de 10X tratando de buscar células en metafase. Una vez localizadas se tomaron las fotografías en un microscopio Carl Zeiss en 100 X, el cual tiene adaptada una cámara Canon PowerShot G5. El análisis de las fotografías se realizó en el programa AxioVision Rel. 4.8.

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## Porcentaje de Germinación

La germinación de una semilla involucra cuatro procesos: la imbibición de agua, la formación de sistemas de enzimas, el comienzo de crecimiento y emergencia de la radícula y finalmente el crecimiento de la plántula (Leopold y Kriedeman, 1975). En el Cuadro 8 se presentan los resultados para porcentaje de germinación (PG), número de plántulas normales (PN), número de plántulas anormales (PA), número de plántulas normales más anormales (PNA) y semillas sin germinar (SSG) de dos variedades de *Moringa* bajo condiciones controladas. La variedad Cápsula Larga mostró un mayor porcentaje de germinación (81.50 %) que la variedad Cápsula Corta (76.75%), la prueba de comparación de medias de T de Student no detectó diferencia significativa entre las variedades.

Cuadro 8. Porcentaje de germinación (PG), plántulas normales (PN), plántulas anormales (PA), plántulas normales más anormales (PNA) y semillas sin germinar (SSG) de las variedades Cápsula Larga y Corta de *M. oleifera*.

| Var   | PG                   | PN                  | PA                   | PNA                 | SSG                | T $\alpha$ |       |
|-------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------|------------|-------|
|       |                      |                     |                      |                     |                    | 0.05       | 0.01  |
| CC    | 76.75                | 19.18               | 0.75                 | 19.93               | 5.06               |            |       |
| CL    | 81.50                | 20.37               | 1.12                 | 21.50               | 3.50               |            |       |
| T cal | -1.612 <sup>ns</sup> | 1.612 <sup>ns</sup> | -0.958 <sup>ns</sup> | -2.659 <sup>*</sup> | 2.657 <sup>*</sup> | 2.042      | 2.750 |

Var: variedad; CC: Cápsula Corta; CL: Cápsula Larga; <sup>ns</sup>: no significativo; <sup>\*</sup>: significativo ( $p \leq 0.05$ ).

En *Moringa oleifera* se ha reportado gran variación en los porcentajes de germinación, ya que en este proceso interactúan factores genéticos, físicos, fisiológicos, mecánicos, edad de la semilla, condiciones de almacenamiento, etc.

Los resultados expuestos en la literatura principalmente se centran en estudios llevados a cabo en producción de plántulas en vivero; debido a que existen pocos trabajos sobre pruebas de vigor en semillas de árboles (Navarro *et al.*, 2015b). Morton (1991) reporta porcentajes de germinación del 60, 48 y 7.5 % para semillas sembradas después de uno, dos y tres meses de cosechadas. Sharma y Rains (1982, citados por Pérez *et al.*, 2010a) mencionan que las semillas de Moringa reducen su poder germinativo al almacenarse por más de dos meses. Germinación del 100% treinta días después de la siembra fue reportada por Medina *et al.* (2007). En ocho genotipos de Moringa se observó un rango de germinación del 49 a 84% Toral *et al.* (2013), y semillas con testa y sin testa germinaron igual al décimo día (96%) según Pallavi *et al.* (2015). La semilla utilizada en el presente estudio tenía más de un año de almacenamiento a temperatura ambiente, por lo que se considera que ambas variedades todavía muestran un buen porcentaje de germinación.

El número de plántulas normales y anormales fue muy parecido en ambas variedades. La obtención de un mayor número de plantas normales aumenta los porcentajes de establecimiento al realizar las siembras en campo. Las plántulas anormales son todas aquellas que presentan deficiencias en sus estructuras esenciales y que les impide un desarrollo normal bajo condiciones favorables de agua, luz y temperatura (Moreno, 1984). El número de plántulas anormales observado fue de 0.75 y 1.12 en la variedad Cápsula Corta y Cápsula Larga respectivamente, al analizar los datos por medio de la prueba de *T de Student* no se encontró diferencia significativa.

En cuanto al número de plántulas normales más anormales la diferencia fue significativa pudiendo ser resultado de la diferencia significativa entre semillas sin germinar (25.30 % para Cápsula Corta y 17.5 % para Cápsula Larga). Esta variable fue evaluada como prueba indirecta de viabilidad. Si se hubieran



utilizado los datos de PNA para calcular el porcentaje de germinación los valores serán 86 % de germinación para Cápsula Larga y 79.72 % para Cápsula Corta.

Las semillas que no germinaron pueden ser resultado de varios factores genéticos, fisiológicos, físicos, químicos y/o de sanidad de las semillas. Determinar por qué no germinó una semilla requiere realizar otro tipo de estudios. En los resultados presentados en el Cuadro 8 se aprecia que se presentó una diferencia significativa al 0.05% entre ambas variedades. Dentro de lo que se observó en las semillas sin germinar es que hubo incidencia de hongos sobre las semillas lo que ocasionó que algunas semillas se pudrieran. Toral *et al.* (2013) mencionan que las malas condiciones de almacenamiento propician los ataques de patógenos sobre semillas de Moringa. Otra característica que presentaron los lotes de semillas fueron semillas blanquecinas, las cuales presentan una baja viabilidad de acuerdo a Navie *et al.* (2010).

### **Índice de Velocidad de Germinación (IVG)**

En la Figura 5 se muestran los resultados del índice de velocidad de germinación de las tres variedades que se evaluaron, donde se puede observar claramente que la variedad Cápsula Corta obtuvo el mayor índice de velocidad, seguida por la variedad Cápsula Larga y por último Sonora, lo cual nos indica que la variedad Sonora presenta menor vigor.

Los resultados obtenidos fueron superiores a los reportados por Bezerra *et al.* (2004) quienes encontraron índices de velocidad de germinación de 3.83, 3.85 y 3.57 para tres diferentes pesos de semillas de *M. oleifera*, mientras que en otro ensayo realizado por los mismos autores donde evaluaron el índice de velocidad de germinación con tres tipos de sustratos (vermiculita, Plantmax® y una combinación de tierra + humus de lombriz + fibra de coco) obtuvieron índices de

3.35, 4.02 y 3.87 respectivamente. El resultado que se obtuvo posiblemente fue mayor debido a la menor resistencia que ofrece el peat moss a la plúmula para su emergencia. Por su parte en estudios realizados en Cuba a seis lotes de semillas de *M. oleifera* con diferentes temperaturas para pruebas de vigor, encontraron que el índice de velocidad de germinación fue superior a temperatura de 30 °C en comparación con las demás temperaturas (Navarro *et al.*, 2015a).

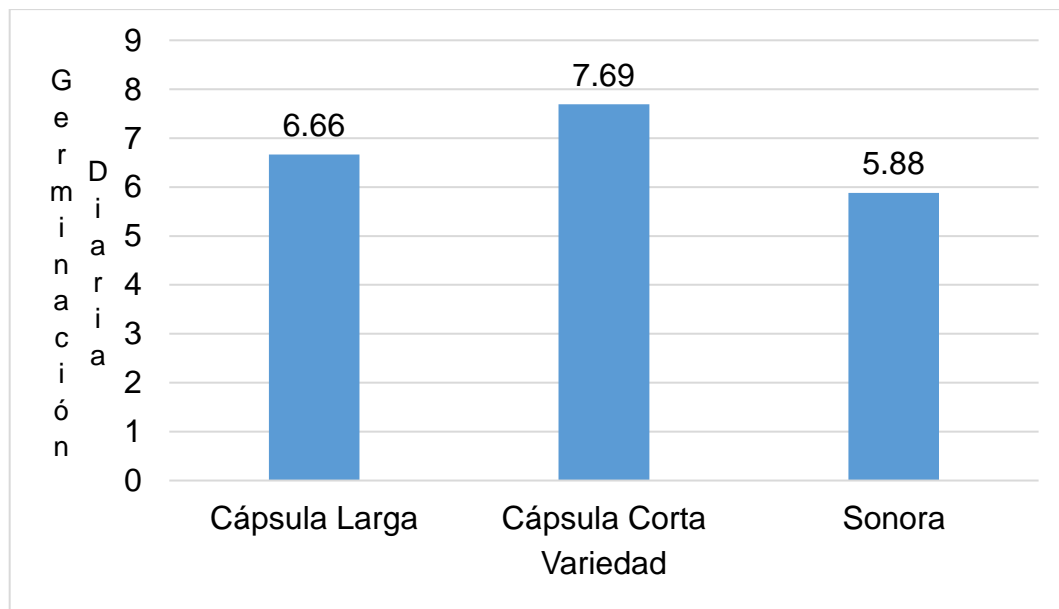


Figura 5. Número de semillas germinadas por día de prueba (IVG) en tres variedades de Moringa.

### Días a Emergencia

La emergencia inició a partir de los ocho días posteriores a la siembra y concluyó a los 17 días para las tres variedades. Los valores medios de la variedad Cápsula Larga, Cápsula Corta y Sonora son 9.95, 9.83 y 9.56 días respectivamente, como se observa en la Figura 6.

La emergencia media ocurrió a los 10 días posteriores a la siembra, para las tres variedades. En estudios anteriores se ha encontrado la emergencia en

un menor tiempo como los reportados por Medina *et al.* (2007) quienes la observaron a los tres días, mientras que Toral *et al.* (2013) obtuvieron la emergencia en su experimento a partir de los seis días. Aunque es bien sabido que en la emergencia influyen varios factores en la composición de la semilla, otros autores como Padilla *et al.* (2012) encontraron que la emergencia ocurre entre los 11 - 15 días con semillas remojadas por 24 horas, y para semillas remojadas por 48 horas y semillas no remojadas la emergencia de las plántulas ocurrió entre 16 - 21 días posteriores a la siembra. Parrotta (2009) reporta que la emergencia para semillas frescas oscila entre 7 a 30 días posteriores a la siembra.

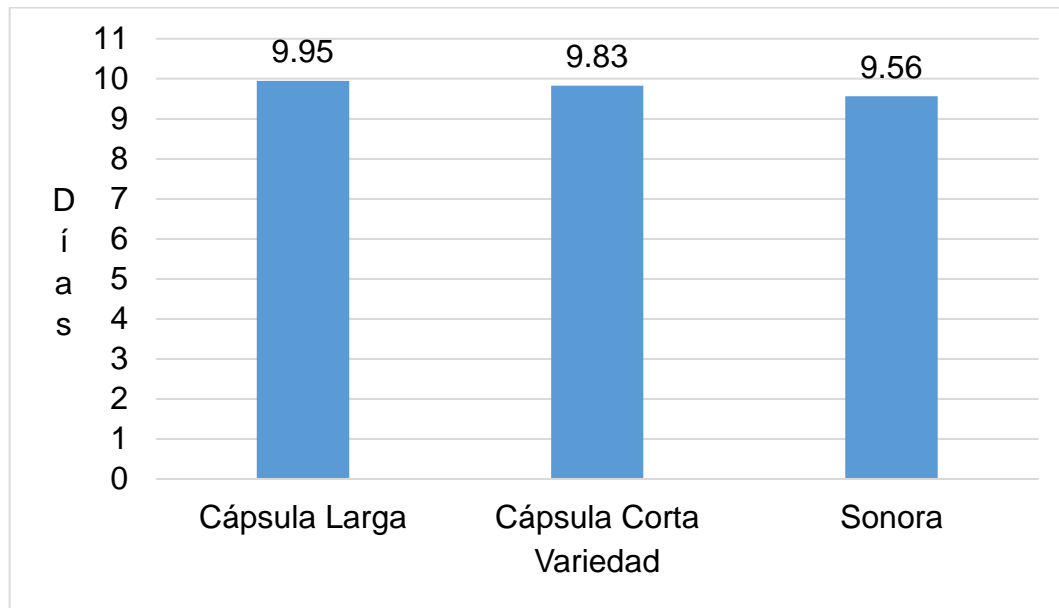


Figura 6. Días a emergencia de tres variedades de Moringa.

### Índice de Velocidad de Emergencia

De acuerdo a Maguire (1962) esta prueba permite establecer mejores estimadores de vigor. En la Figura 7 se muestran los valores del índice de velocidad de emergencia de las tres variedades evaluadas, donde se puede deducir que en los tres casos se obtienen cinco plantas en promedio por día.

Cardoso *et al.* (2006) concluyeron que los mejores índices de velocidad de emergencia en Moringa se obtienen al colocar las semillas a una profundidad de 2 cm, y cuando las semillas son colocadas con el ápice orientado hacia arriba y de costado. En aplicaciones a diferentes concentraciones de Byozyme® TF (0,1, 3, 5 y 6 ppm) se encontraron índices de velocidad de 4.04, 4.44, 5.31, 5,66 y 5.82 respectivamente, por lo cual recomiendan la aplicación de dicho producto a la semilla de Moringa a 6 ppm para incrementar el índice de velocidad de emergencia permitiendo obtener plántulas más vigorosas (Hernández, 2016).

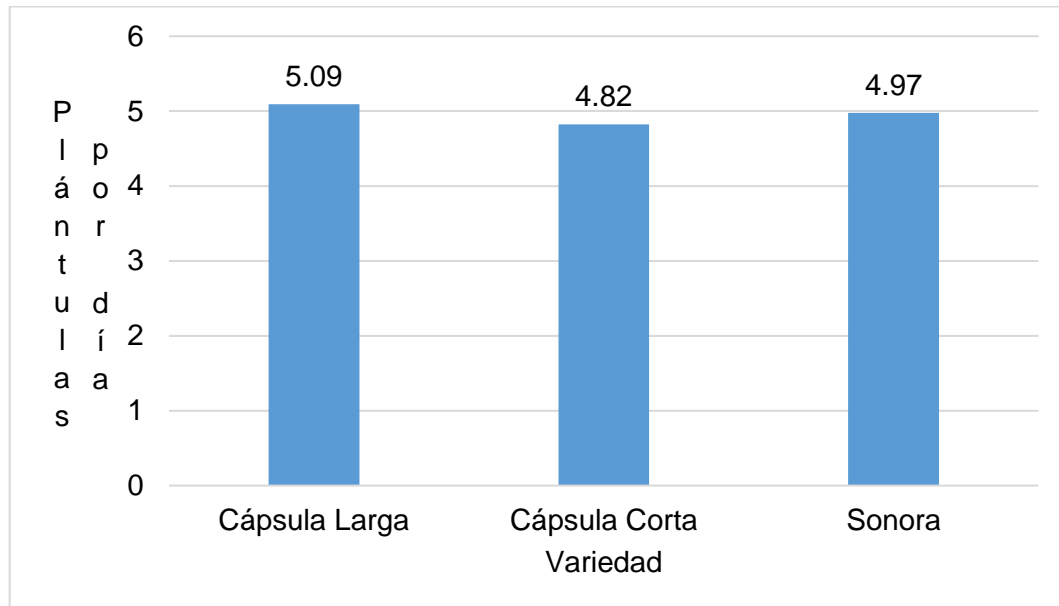


Figura 7. Número de plúmulas que emergieron por día de prueba en tres variedades de Moringa.

## Altura de Planta

Con base en la información que se recabó durante el período en que se tomaron los datos en tres variedades de *M. oleifera*, se encontró que existen diferencias altamente significativas (Cuadro 9) en cuanto a la altura de planta entre las variedades evaluadas en tres diferentes muestreos (19 y 25 de junio y 1° de julio). Los coeficientes de variación se consideran aceptables.

Cuadro 9. Valores de F calculada del análisis de varianza de la altura de planta en tres variedades de *M. oleifera*. Buenavista, Saltillo, Coahuila, 2016.

| FV  | Altura de planta (cm) |         |        | F $\alpha$ |      |
|-----|-----------------------|---------|--------|------------|------|
|     | 1                     | 2       | 3      | 0.05       | 0.01 |
| Var | 11.79**               | 10.60** | 9.00** | 3.35       | 5.49 |
| CV  | 12.35                 | 12.77   | 13.40  |            |      |

Var: variedades, CV: coeficiente de variación (%), \*: significativo ( $p \leq 0.05$ ); \*\*: altamente significativo ( $p \leq 0.01$ ).

Se puede observar en el Cuadro 10, las comparaciones de medias y a través de muestreos que la variedad Cápsula Larga comenzó como la variedad con mayor crecimiento, pero la variedad Cápsula Corta tuvo mayor altura en las dos lecturas siguientes; la variedad Sonora durante las tres fechas presentó un promedio de altura menor, pero siempre con un crecimiento constante. El crecimiento de las tres variedades como era de esperarse siempre fue progresivo, debido a que la especie presenta la característica de un rápido desarrollo vegetativo, el cual se comienza a expresar a través de un mayor crecimiento después de los 20 días de la siembra (Torral et al., 2013). El crecimiento acelerado que experimenta *M. oleifera* desde el inicio de su establecimiento de acuerdo a Medina et al. (2007), es lo que le permite alcanzar varios metros de altura durante su primer año de establecimiento (INCAP, 2008; Parrotta, 2009). Como especie semi-domesticada la absorción de nutrientes y agua de una manera rápida, es vital para la supervivencia de la especie.

Cuadro 10. Comparación de medias de tres fechas de altura de planta de tres variedades de *M. oleifera*. Saltillo, Coah. 2016.

| Variedad      | Altura de Planta (cm) |         |         |
|---------------|-----------------------|---------|---------|
|               | 1                     | 2       | 3       |
| Cápsula Larga | 8.94 a                | 12.55 a | 16.84 a |
| Cápsula Corta | 8.37 a                | 12.66 a | 17.22 a |
| Sonora        | 6.85 b                | 9.92 b  | 13.55 b |
| DMS           | 0.91                  | 1.37    | 1.95    |

Valores con la misma letra dentro de las columnas no son diferentes estadísticamente. DMS ( $p \leq 0.05$ ).

### Longitud Media de Plúmula

La prueba de *T de Student* no detectó diferencia significativa en cuanto a la longitud media de plúmula (Cuadro 11), lo que nos indica que ambas variedades tuvieron un crecimiento medio de plúmula igual, sin que su composición genética y/o fisiológica de alguna de las dos superara a la otra. Moringa tiene un crecimiento muy acelerado, esto se puede observar en los resultados en donde a los diez días las longitudes de plúmula fueron de 8.34 cm para Cápsula Corta y 8.72 cm para Cápsula Larga, lo que propicia que la especie se adapte y comience a realizar sus funciones metabólicas más rápidamente, en comparación con otras especies con las cuales puede tener competencia dentro de los diferentes nichos ecológicos (Padilla *et al.*, 2012).

Pallavi *et al.* (2015) al tratar de estandarizar la prueba de vigor para *Moringa oleifera*, encontraron que la tasa de crecimiento de plántulas fue más rápida en semillas sin testa en comparación con semillas que si presentaban testa, pero sin embargo no encontraron diferencia significativa entre ambos tratamientos. Por su parte Hernández (2016) reporta longitudes medias de plúmula de 10.66, 13.33, 15.35, 14.50 y 20 cm en cinco tratamientos con concentraciones de 0, 1, 3, 5 y 6 ppm respectivamente del producto Byozyme® TF. La aplicación con este producto puede ser una manera eficiente de acelerar el crecimiento de las plántulas de Moringa, y que estas comiencen a fotosintetizar más rápidamente.

Cuadro 11. Medias de longitud de plúmula, longitud de radícula, peso seco de raíz por plántula, número de raíces adventicias de dos variedades de Moringa.

| Var   | LMP<br>cm            | LMR<br>cm            | PSRP<br>mg/pta      | NRA                | T $\alpha$ |       |
|-------|----------------------|----------------------|---------------------|--------------------|------------|-------|
|       |                      |                      |                     |                    | 0.05       | 0.01  |
| CC    | 8.34                 | 14.22                | 6.95                | 42.57              |            |       |
| CL    | 8.72                 | 15.01                | 4.10                | 39.80              |            |       |
| T cal | -1.216 <sup>ns</sup> | -1.296 <sup>ns</sup> | 3.307 <sup>**</sup> | 2.122 <sup>*</sup> | 2.048      | 2.763 |

Var: variedad; CC: Cápsula Corta; CL: Cápsula Larga; LMP: longitud media de plúmula; LRS: longitud media de radícula; PSRP: pesos seco radicular por plántula; NRA: número de raíces adventicias; <sup>ns</sup>: no significativo; <sup>\*</sup>: significativo ( $p \leq 0.05$ ); <sup>\*\*</sup>: altamente significativo ( $p \leq 0.01$ ).

### Longitud Media de Radícula

Las especies que generan un buen sistema radicular tratan de enfocar sus energías en la generación de raíces para poder asegurar el suministro adecuado de agua y nutrientes a la parte aérea en cuanto se acaben las reservas del embrión. El análisis estadístico demostró que la longitud media de la radícula no presentó significancia entre ambas variedades, aunque la variedad Cápsula Larga presentó una mayor longitud de raíz que Cápsula Corta (Cuadro 11). Este resultado es muy similar al de longitud media de plúmula donde ambas variedades tienen una diferencia mínima. En la siembra de semillas de Moringa con tratamiento de remojo de agua corriente por 24 y 48 horas se encontró que los tratamientos no afectaron el largo de la raíz que fue de 3.4 y 3.9 cm respectivamente (Padilla *et al.*, 2012). Las longitudes de raíz son sumamente menores a las encontradas en este estudio, a pesar de que a dicha variable la evaluaron 20 días después de la siembra. Este resultado se puede deber a que la raíz encontró una mayor resistencia en el sustrato y por ende su menor crecimiento, o que a la hora de sacar la radícula parte de ella se quedara en el sustrato. Por su parte Cardoso *et al.* (2006) no encontraron conexión entre la profundidad y la posición de las semillas de Moringa en relación con la longitud de la raíz.

## **Peso Seco Radicular**

El peso seco radicular se expresó en mg/planta y dentro de esta variable se encontró diferencia altamente significativa entre las dos variedades. Cápsula Corta obtuvo en promedio 6.95 mg/planta, mientras que Cápsula Larga 4.10 mg/planta. Este resultado puede estar influenciado debido a la infestación de hongos patógenos sobre la raíz de algunas plantas de la variedad Cápsula Larga lo cual nos puede dar un valor sesgado. En la comparación de *Moringa oleifera* con otras dos especies forrajeras se encontró que *Moringa* presentó un menor desarrollo radicular (Noguera-Talavera *et al.*, 2014). Caso contrario a lo reportado por Duarte (2015) quien menciona que *M. oleifera* presentó una media de 27 (gr) y *L. leucocephala* 5 (gr). La escasez de agua por su parte retarda los procesos fisiológicos y bioquímicos de las semillas, y por ende las plántulas de *Moringa* se desarrollan menos, acumulando menor cantidad de materia seca en la parte radicular y aérea (Rabbani *et al.*, 2012). Al evaluar tres diferentes posiciones de semilla a la hora de la siembra (Cardoso *et al.*, 2006) encontraron que no hubo diferencia significativa entre los tres tratamientos en cuanto a la acumulación de materia seca.

## **Número de Raíces Adventicias**

El número de raíces adventicias demostró tener diferencia altamente significativa entre ambas variedades. A diferencia de la variable anterior esta no se vio afectada por la presencia de hongos debido a que sólo se contabilizó el número de raíces. Cápsula Corta presenta un mayor número de raíces laterales en comparación con Cápsula Larga. En un estudio comparando *Moringa* y *Leucaena* se encontró que *Moringa* comenzaba como la especie con mayor número de raíces laterales, pero conforme pasó el tiempo, *Leucaena* comenzó a producir cada vez más raíces, superando al final a *Moringa* (Duarte, 2014). En otro estudio los resultados fueron contrarios debido a que *Moringa* presentó un



mayor número de raíces laterales en comparación con *Leucaena* y *Gandul*, lo cual resulta favorable para su crecimiento al emitir raíces nuevas que le permitirán la absorción de agua (Noguera-Talavera *et al.*, 2014).

### Longitud Media de Radícula vs Longitud Media de Plúmula

Los resultados obtenidos en cuanto a LMR vs LMP resultaron tener una alta diferencia significativa, debido a que las medias de LMR superaron por casi un 50% más a las medias de LMP (Cuadro 12).

Cuadro 12. Medias de longitud de radícula vs longitud de plúmula de las variedades Cápsula Corta y Cápsula Larga, con valores de T calculada.

|        | Variedad |         | T $\alpha$ |       |
|--------|----------|---------|------------|-------|
|        | CC       | CL      | 0.05       | 0.01  |
| LMR    | 14.22    | 15.01   |            |       |
| LMP    | 8.34     | 8.87    |            |       |
| T calc | 15.229** | 9.558** | 2.048      | 2.763 |

LMR: longitud media de radícula; LMP: longitud media de plúmula; CC: cápsula corta; CL: cápsula larga; \* significativo ( $p \leq 0.05$ ); \*\* altamente significativo ( $p \leq 0.01$ ).

Esto nos indica que las plántulas primero generan un amplio sistema radicular a través de alargar la raíz principal y la generación de raíces adventicias abundantes, lo cual asegura el suministro adecuado de agua y nutrientes a la parte aérea de la planta. Se ha demostrado que desde la quinta semana de su establecimiento en vivero la biomasa aérea es similar a la cantidad de biomasa de la raíz, y que en combinación con otros factores da la idea del momento ideal de ser trasplantada en campo (Noguera-Talavera *et al.*, 2014).

## Determinación del Número Cromosómico

La modificación con papaína que se realizó a la técnica propuesta por García (1990), fue efectiva ya que en las microfotografías tomadas de la variedad Cápsula Larga fueron a las que se les aplicó papaína para que se degradara la pared celular. En la Figura 8 se muestran los cromosomas de *M. oleifera* de la variedad Cápsula Larga donde se puede observar su tamaño en relación con las células. Sin embargo, los cromosomas presentaron un tamaño muy reducido que no permitió realizar el cariotipo de *M. oleifera* por lo que el número cromosómico ( $2N = 2X = 28$ ) se obtuvo en una única célula mitótica en metafase, de la cual al ser degradada su pared celular, los cromosomas fueron liberados del citoplasma (Figura 9).

El número cromosómico de  $2N = 2X = 28$  cromosomas obtenido en este estudio para la variedad Cápsula Larga, concuerda con lo reportado con anterioridad por Patel y Narayana (1937) quienes obtuvieron  $N = 14$  cromosomas en *Moringa pterygosperma* Gaertn; resultado que posteriormente fue confirmado en estudios meióticos en *M. oleifera* por (Mendioro *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2011). Este mismo resultado se obtuvo en *Moringa peregrina* (Nazari *et al.*, 2012), especie con la cual *Moringa oleifera* comparte el mismo centro de origen en la Península Arábiga y el Subcontinente Indio, además que Olson (2002b) al realizar la clasificación del género *Moringa* las ubicó dentro del mismo grupo llamado “Slender trees”.

En las Figuras 10, 11 y 12 se muestran las mediciones de cada uno de los cromosomas observados. En el Cuadro 13 se observa el tamaño de los cromosomas, los cuales oscilan entre  $0.05 \mu\text{m}$  a  $0.10 \mu\text{m}$ . La familia botánica más cercana de Moringaceae es Caricaceae, con la que comparte la característica de presentar glándulas en el ápice del pecíolo (Olson, 2002a). En la determinación del cariotipo de tres especies de la familia Caricaceae, Corrêa *et al.* (2009)

encontraron que los cromosomas midieron de 2.29  $\mu\text{m}$  a 1.52  $\mu\text{m}$  en *C. papaya*, de 2.49  $\mu\text{m}$  a 1.35  $\mu\text{m}$  en *V. monoica* y de 2.45  $\mu\text{m}$  a 1.66  $\mu\text{m}$  en *V. cundinarmacensis*. En la literatura no existen reportes sobre el cariotipo de *M. oleifera*, el único reporte dentro de la familia Moringaceae se encuentra en la especie *Moringa peregrina* en donde los autores concluyen que la especie tiene cromosomas pequeños, los cuales miden entre 1.19 a 2.1  $\mu\text{m}$  mayores a los encontrados en el presente estudio (Nazari *et al.*, 2012). Los resultados de investigaciones anteriores señalan que es muy común encontrar entre las especies emparentadas con *M. oleifera* cromosomas pequeños. Lo que también puede influenciar el tamaño de los cromosomas es el origen geográfico de las semillas o puede que reflejen un proceso de selección (Tapia-Pastrana *et al.*, 2012).

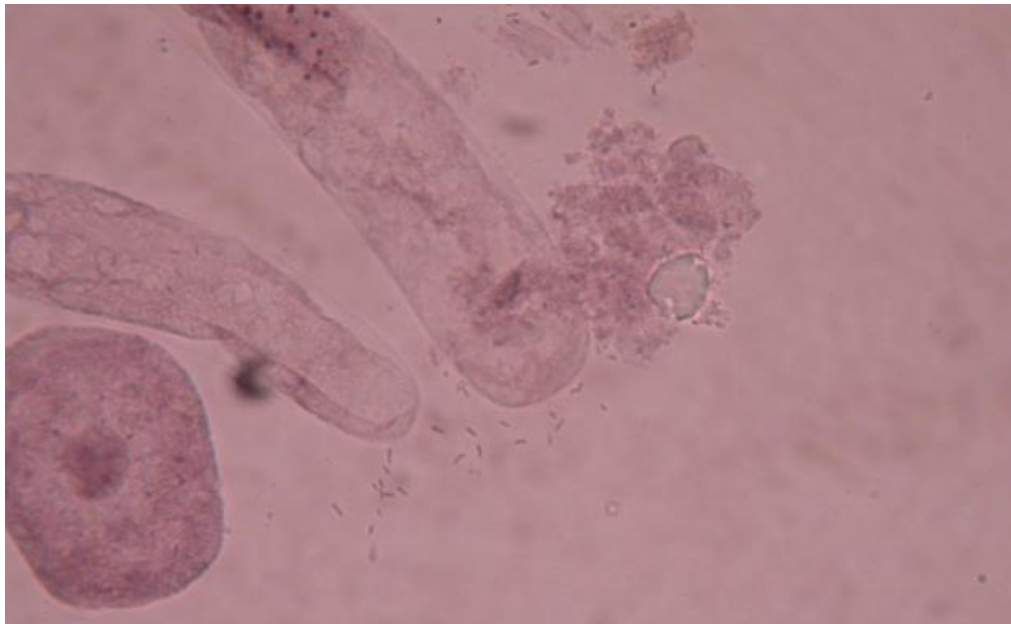


Figura 8.  $2N = 2X = 28$  cromosomas de *Moringa oleifera* variedad Cápsula Larga.

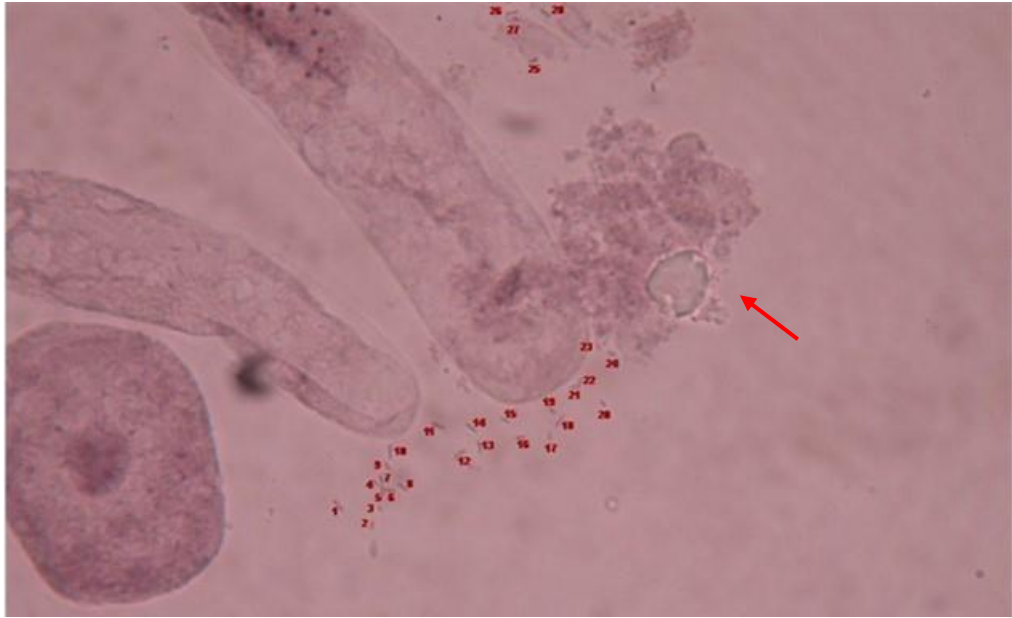


Figura 9. Número cromosómico de *M. oleifera* variedad Cápsula Larga ( $2N = 2X = 28$ ).

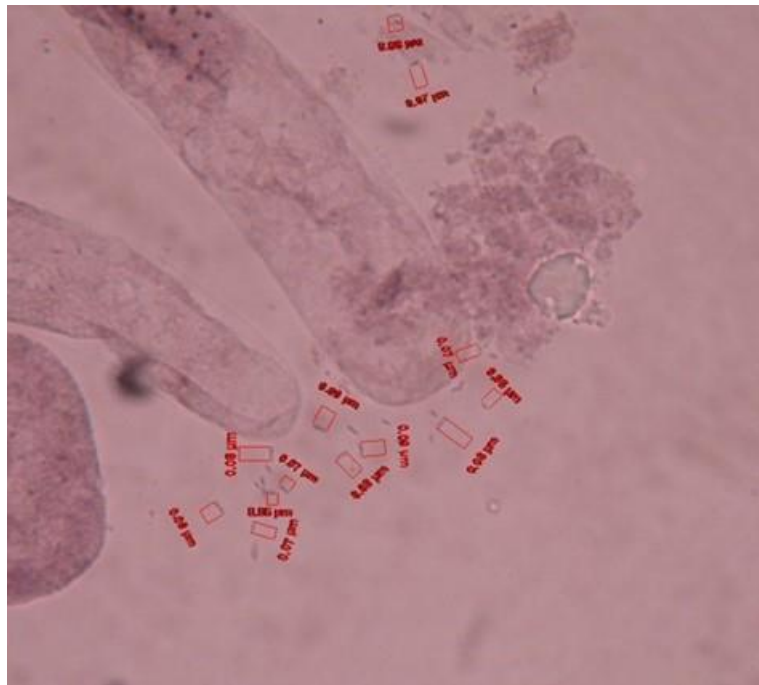


Figura 10. Tamaño de los cromosomas de la variedad Cápsula Larga de *M. oleifera*.



Cuadro 13. Tamaño de los cromosomas de una célula en metafase mitótica de *M. oleifera*.

| Cromosoma | Longitud ( $\mu\text{m}$ ) |
|-----------|----------------------------|
| 1         | 0.09                       |
| 2         | 0.07                       |
| 3         | 0.05                       |
| 4         | 0.05                       |
| 5         | 0.06                       |
| 6         | 0.06                       |
| 7         | 0.06                       |
| 8         | 0.07                       |
| 9         | 0.07                       |
| 10        | 0.08                       |
| 11        | 0.09                       |
| 12        | 0.08                       |
| 13        | 0.09                       |
| 14        | 0.10                       |
| 15        | 0.07                       |
| 16        | 0.06                       |
| 17        | 0.06                       |
| 18        | 0.08                       |
| 19        | 0.06                       |
| 20        | 0.06                       |
| 21        | 0.05                       |
| 22        | 0.05                       |
| 23        | 0.07                       |
| 24        | 0.05                       |
| 25        | 0.07                       |
| 26        | 0.08                       |
| 27        | 0.06                       |
| 28        | 0.07                       |

El ciclo celular de *M. oleifera* se presenta desde muy tempranas horas. Durante el estudio se observó que a partir de las 5:30 am, ya inicia el proceso de división celular y a las 11:30 am aún existen células con diferentes fases celulares. Aunque la mejor hora para encontrar un mayor número de células mitóticas fue de las 7:00 a las 11:30 am. Al encontrar estos resultados se puede pensar en que la constante división celular se puede reflejar en el crecimiento acelerado que presenta la especie desde su siembra Medina *et al.* (2007). Las fases mitóticas (profase, metafase, anafase y telofase) del proceso de división celular de la variedad Cápsula Larga se observan en la Figura 13.

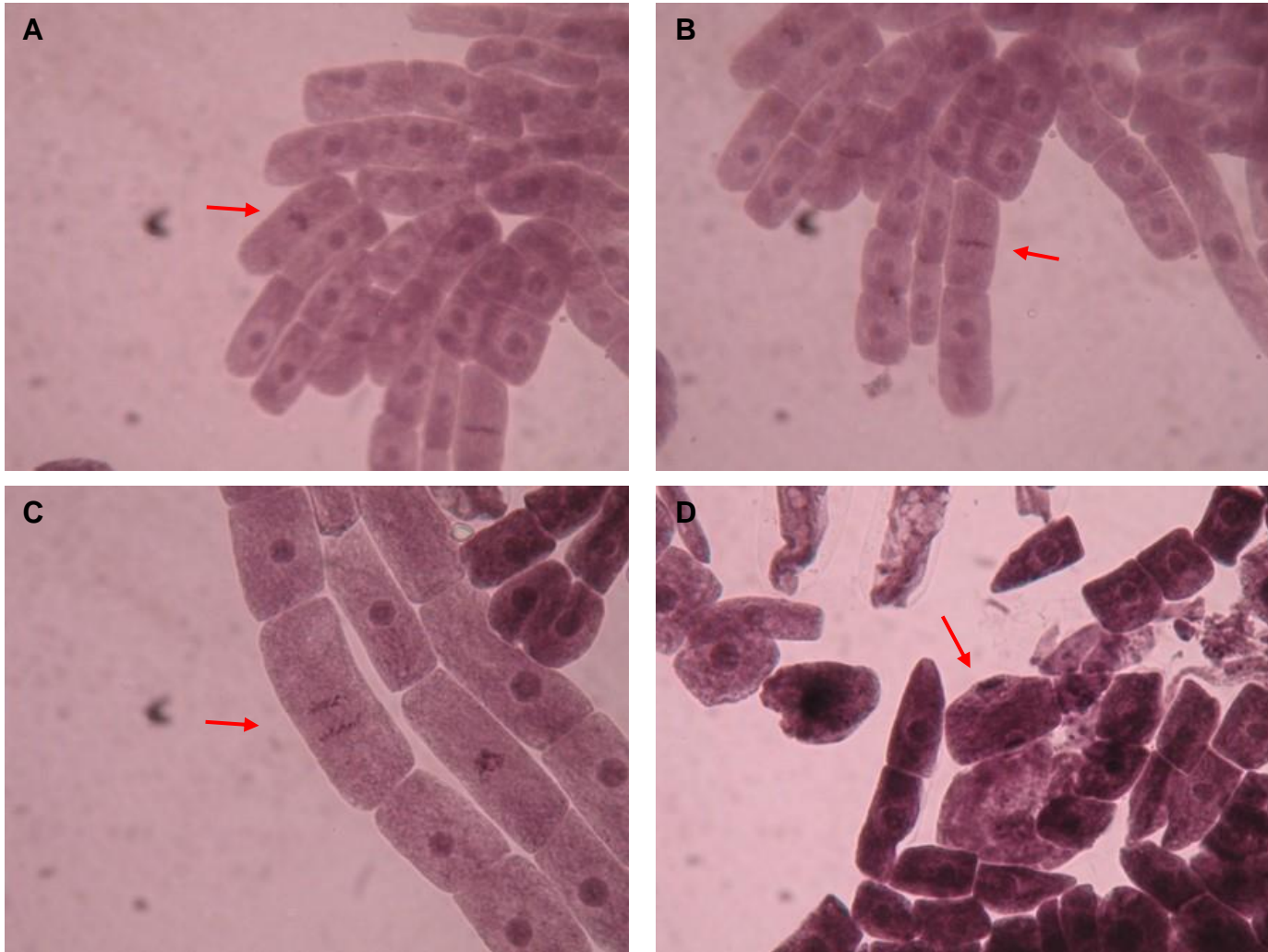


Figura 13. División celular de la variedad Cápsula Larga de *Moringa oleifera*. A) Profase, B) Metafase, C) Anafase y D) Telofase.

En la variedad Cápsula Corta se utilizó un pre-tratamiento con 8 - hidroxiquinoleína por una hora, posteriormente se tiñeron los cromosomas con carmín y ácido acético. En esta variedad no fue posible realizar el conteo cromosómico. En la Figura 14 se presentan las fases del proceso mitótico.

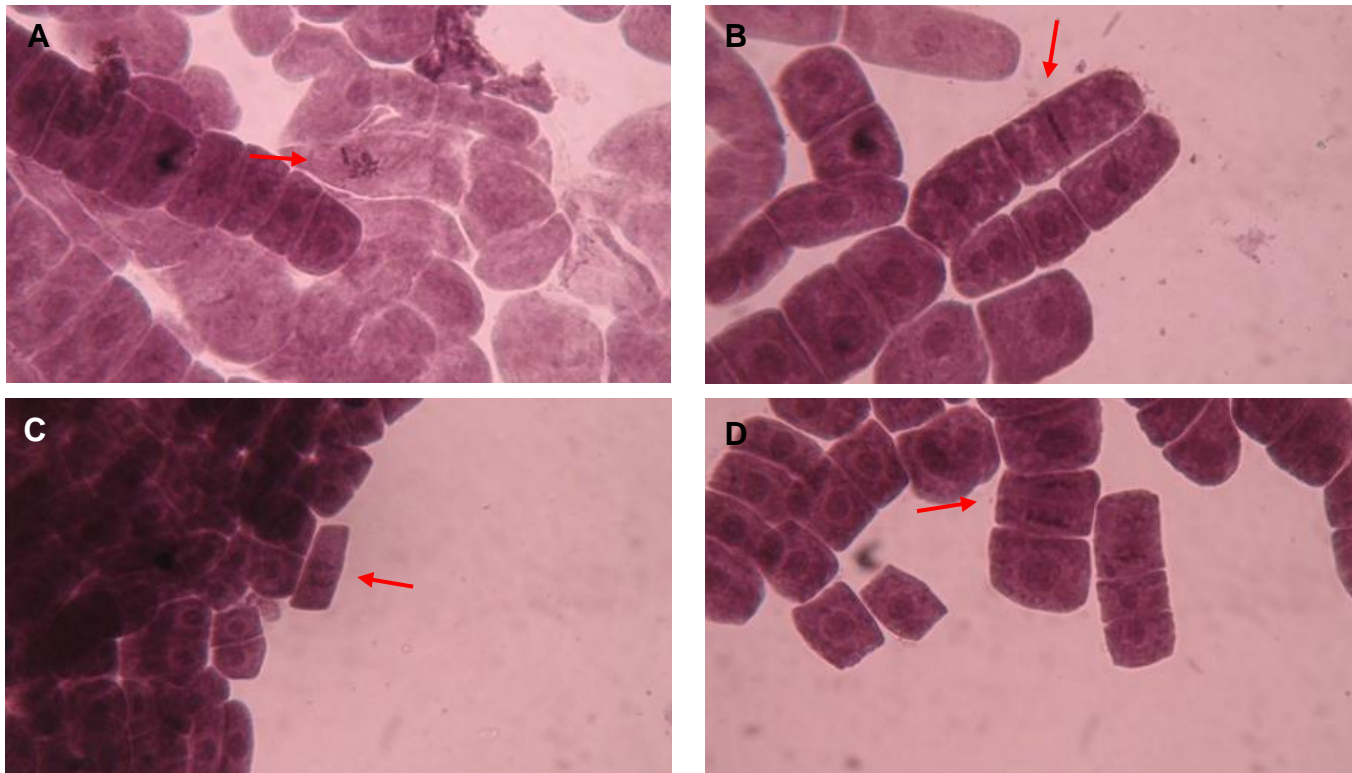


Figura 14. División mitótica de la variedad Cápsula Corta de *Moringa oleifera*. A) Profase, B) Metafase, C) Anafase y D) Telofase.



## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación se concluye:

Las nuevas variedades Cápsula Larga y Cápsula Corta presentan un comportamiento similar durante el proceso germinativo, en algunas variables evaluadas al de otras variedades ya antes reportadas en la literatura mientras que en algunas otras las supera. *Moringa oleifera* es una especie con potencial en el norte del país debido a su amplia variabilidad genética.

El número cromosómico encontrado fue de  $(2N=2X=28)$  hallado únicamente en la variedad Cápsula Larga. Este resultado es el mismo al reportado con anterioridad, pero a diferencia de los estudios anteriores en donde el resultado se obtuvo por meiosis, en esta ocasión los resultados mitóticos nos dan una mejor idea del tamaño real de los cromosomas, ayudando a entender mejor la genética de la especie. El tamaño tan reducido de los cromosomas, dificulta los estudios citogenéticos, por lo que es necesario determinar el cariotipo de la especie.

## LITERATURA CITADA

- Abass, M.A., Kabbashi A.S. and Garbi M.I. (2015). *In vitro* antioxidant activity, phytochemical analysis and cytotoxicity of ethanolic leaves extract of *Moringa oleifera* Lam. International Journal of Multidisciplinary Research and Development 2: 73-77.
- Abdel-Hameed, U.K. (2015). Molecular phylogenetics of Moringaceae Martinov with emphasis on ethnomedicinal plant *Moringa oleifera* Lam. Grown in Egypt. Scholars Academic Journal of Biosciences 3:139-142.
- Alo, M.N., Anyim C. and Elom M. (2012). Coagulation and antimicrobial activities of *Moringa oleifera* seed storage at 3 °C temperature in turbid water. Advances in Applied Science Research 3: 887-894.
- Amjad, M.S., Qureshi H., Arshad M., Chaudhari S.K and Masood M. (2015). The incredible queen of green: Nutritive value and therapeutic potential of *Moringa oleifera* Lam. Journal of Coastal Life Medicine 3: 744-751.
- Anhwange, B.A., Ajibola V.O. and Oniye S.J. (2004). Amino acids composition of the seeds of *Moringa oleifera* (Lam), *Detarium microcarpum* (Guill & Sperr) and *Bauhinia monandra* (Linn.). ChemClass Journal 1: 9-13.
- Anwar, F. and Bhangar M.I. (2003). Analytical characterization of *Moringa oleifera* seed oil grown in temperate regions of Pakistan. Journal of Agricultural Food Chemistry 51: 6558–6563.
- Armand, S.I., Basocak V., Pauly G. and McCaulley J. (2003). *Moringa oleifera*: An interesting source of active ingredients for skin and hair care. SÖFW-Journal 129: 45-52.
- Ashfaq, M., Basra S.M.A. and Ashfaq U. (2012). Moringa: A miracle plant of agro-forestry. Journal of Agriculture & Social Sciences 8: 115–122.

- Azad, A.K., Rasul M.G., Khan M.M.K., Sharma S.C. and Islam R. (2015). Prospect of Moringa seed oil as a sustainable biodiesel fuel in Australia: A review. *Procedia Engineering* 105: 601–606.
- Bezerra, A.M., Momenté V.G. y Sebastião-Medeiros F.S. (2004). Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato. *Horticultura Brasileira* 22: 295-299.
- Bonal, R.R., Rivera O.R. y Bolívar C.M. (2012). *Moringa oleifera*: Una Opción Saludable para el Bienestar. *Medisan* 16: 1596-1599.
- Cardoso, R.M., Daniel-Medeiros C.D., Carvalho M.V. y Sousa A.H. (2006). Profundidad y posición de la semilla en la emergencia y desarrollo de plântulas de moringa. *Centro Agrícola* 33 (1): 5-8.
- Carvalho, F. and Renner S. (2012). A dated phylogeny of the Papaya Family (Caricaceae) reveals the crop's closest relatives and the family's biogeographic history. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 65: 46–53.
- Chave, J., Coomes D.A., Jansen S., Lewis S.L., Swenson N.G. and Zanne A.E. (2009). Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters* 12(4): 351-366.
- Corrêa, D.J.P., Fabiane R.C., Telma N.S.P., Monique F.N. and Messias G.P. (2009). Karyotype determination in three Caricaceae species emphasizing the cultivated form (*C. papaya* L.). *Caryologia* 62:10-15.
- Del Toro, J., Carballo A. y Rocha L. (2011). Valoración de las propiedades nutricionales de *Moringa oleifera* en el Departamento de Bolívar. *Revista de Ciencias* 15: 23-30.
- Dhakar, R.C., Maurya S.D., Pooniya B.K., Bairwa N., Gupta M. and Sanwarmal. (2011). Moringa: The herbal gold to combat malnutrition. *Chronicles of Young Scientists* 2: 119-125.
- Duarte, A.C. (2015). Evaluación del comportamiento de dos especies forrajeras Marango (*Moringa oleifera* Lam.), y Leucaena (*Leucaena leucocephala* De

- Witt) en la fase de vivero. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 27p.
- Dubey, D.K., Dora J., Kumar A. and Gulsan R.K. (2013). A Multipurpose Tree-*Moringa oleifera*. International Journal of Pharmaceutical and Chemical Sciences 2: 415-423.
- Duke, J. A. (1983). Handbook of energy crops. Unpublished. NewCROPS. Purdue University. Página web, Recuperado el 25 de marzo de 2016, de [https://hort.purdue.edu/newcrop/duke\\_energy/Moringa\\_oleifera.html](https://hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Moringa_oleifera.html).
- Ekhuemelo, D. and Udo A. (2014). Investigation of variations in the fibre characteristics of *Moringa oleifera* (Lam) stem for pulp and paper production. International Journal of Science and Technology 5: 19-25.
- Elangovan, M., Dhanarajan M.S., Rajalakshmi A., Jayachitra A., Mathi P. and Bhogireddy N. (2014). Analysis of phytochemicals, antibacterial and antioxidant activities of *Moringa oleifera* Lam. leaf extract-an *in vitro* study. International Journal of Drug Development and Research 6: 173-180.
- Encyclopedia of Life. *Moringa oleifera*. Recuperado el 23 de marzo de 2016, de <http://www.eol.org/pages/486251/media>.
- Esmeraldo, A.M., Medeiros S., Santiago J.B y Teófilo E.M. (2004). Avaliação da qualidade das sementes de *Moringa oleifera* Lam. durante o armazenamento. Ciência e Agrotecnologia 28:1240-1246.
- Espinosa, N., López, A. y Martínez, J. (2014). Áreas con Alto Potencial Agroecológico para el Cultivo de Moringa (*Moringa oleifera* L.) para la Producción de Biocombustibles en el Estado de Chiapas, México. En: Memorias del II Congreso de Agronomía Convibra. Recuperado el 2 de abril de 2016, de <http://www.convibra.com.br/dp/default.asp?pid=8841>.
- Espinoza, O.L., Carranza R.R., Olivares S.E. y Vázquez A.R. (2015). Establecimiento y desarrollo vegetativo de dos variedades de Moringa (*Moringa oleifera* Lam.), en sustrato perlita, aplicando el método del elemento faltante. En: Memorias del XL Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. San Luis Potosí, México.

- Ferreira, P.P., Farias D.F., Oliveira A.J. and Carvalho U.A. (2008). *Moringa oleifera*: Bioactive compounds and nutritional potential. *Revista de Nutrição* 21: 431-437.
- Foidl, N., Makkar H.P.S. and Becker K. (2001). The potential use of *Moringa oleifera* for agriculture and industrial uses. In: The miracle tree/the multiple attributes of *Moringa oleifera*. Fuglie, L.J. (Ed.). CTA, USA.
- Foidl, N., Mayorga L. y Vásquez W. (1999). Utilización del marango (*Moringa oleifera*) como forraje fresco para ganado. En: Agroforestería para la alimentación animal en Latinoamérica. M.D. Sánchez y M. Rosales (Eds.). Estudio FAO: Producción y Sanidad Animal No. 143, p. 341.
- Fuglie, L. J. (2001). The miracle tree: the multiple attributes of Moringa. Dakar, Senegal: Church World Service, p. 172.
- Fuglie, L. J. (2000). Se estudian nuevos usos del Marango en Nicaragua. En: M. Price (Ed.). ECHO Notas de Desarrollo No. 68. Myers, Florida: ECHO.
- Ganesan, S.K., Singh R., Choudhury D.R., Bharadwaj J., Gupta V. and Singode A. (2014). Genetic diversity and population structure study of Drumstick (*Moringa oleifera* Lam.) Using Morphological and SSR Markers. *Industrial Crops and Products* 60: 316–325.
- García, D.E., Medina M.G., Domínguez C., Baldizán A., Humbría J. y Cova L. (2006). Evaluación química de especies no leguminosas con potencial forrajero en el estado Trujillo, Venezuela. *Zootecnia Tropical* 24: 401-415.
- García, I., Pais A. y Dique P. (2014). Propagación vegetativa por estacas de *Pterocarpus angolensis* DC. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 2:97-104.
- García, R.M. (2003). Producción de semillas forestales de especies forrajeras enfatizados en Sistemas Silvopastoriles. INAFOR. 37 p.
- García, V.A. (1990). Técnicas y procedimientos de citogenética vegetal. Centro de Genética, Colegio de Postgraduados. Tercera edición. Montecillos, Edo. Mex.

- Hegazi, M.A. (2015). Influence of soil type, sowing date and diluted seawater irrigation on seed germination, vegetation and chemical constituents of *Moringa oleifera* Lam. *Journal of Agricultural Science* 7: 138-147.
- Hernández, H.S. (2016). Efecto de la aplicación de Byozyme TF sobre la germinación de semilla de *Moringa oleifera* Lam. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 53p.
- Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. 2008. Rendimiento y uso potencial de paraíso blanco, *Moringa oleifera* Lam en la producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario-nutricional de Guatemala. Informe Final, Proyecto FODECYT, No. 26, 2006.
- Integrated Taxonomic Information System. ITIS Report. *Moringa oleifera* Lam., Serial No. 503874. Recuperado el 10 de marzo de 2016, de <http://www.itis.gov>.
- Jyothi, P.V. Atluri J.B & Reddi C.S. (1990). Pollination ecology of *Moringa oleifera* (Moringaceae). *Proceedings of the Indian Academy of Sciences (Plant Sciences)* 100: 33-42.
- Klbitzki, K. (2003). Flowering plants dicotyledons. Malvales, Capparales, and Nonbetalain Caryophyllales. In: *The families and genera of vascular plants*. K. Klbitzki and C. Bayer (Eds.). Berlín: Springer vol. 5: 312-314.
- Lezcano, J.C., Alonso O., Trujillo M. y Martínez E. (2014). Agentes fúngicos asociados a síntomas de enfermedades en plántulas de *Moringa oleifera* Lamarck. *Pastos y Forrajes* 37: 166-172.
- Mahmood, K.T., Mugal T. and Haq I.U. (2010). *Moringa oleifera*: A natural gift-a review. *Journal of Pharmaceutical Sciences & Researc.* 2: 775-781.
- Madsen, M., Schlundt J. and El Fadil E.O. (1987). Effect of water coagulated by beeds of *Moringa oleifera* on bacterial concentrations. *Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 90:101-109.
- Maguire, J.D. (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergences and vigor. *Crop Sci.* 2:176-177.

- Makkar, H.P.S. and Becker K. (1996). Nutritional value and whole and ethanol antinutritional components of extracted *Moringa oleifera* leaves. *Animal Feed Science Technology* 63: 211–228.
- Martín, C., Martín G., García A., Fernández T., Hernández E. y Puls J. (2013). Potenciales aplicaciones de *Moringa oleifera*. Una revisión crítica. *Pastos y Forrajes* 36: 137-149.
- Medina, M., García D., Clavero T. y Iglesias J. (2007). Estudio comparativo de *Moringa oleifera* y *Leucaena leucocephala* durante la germinación y la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Tropical* 25: 83-93.
- Mendiolo, M.S., Diaz M.D., Alcantara M.T., Hilario O.J., Mateo P. and Maghirang R.D. (2005). Cytological studies of selected medicinal plants: *Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotz., *Moringa oleifera* Lam., *Catharanthus roseus* (L.) Don., and *Chrysanthemum indicum* Linn. *Philippine Journal of Science* 134: 31-37.
- Moreno, M.E. (1984) Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Primera Ed. Instituto de Biología, UNAM. México. 387 p.
- Morton, J. (1991). The Horseradish Tree, *Moringa Pterygosperma* (Morinoaceae)- A Boon to Arid Lands?. *Economic Botany* 45:318-333.
- Mulvi, G.M., Sprent J.I., Odee D. and Powell, W. (2004). Estimates of outcrossing rates in *Moringa oleifera* using Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP). *African Journal of Biotechnology* 3:146-151.
- Muñoz, M.R., Rodríguez M.S., García R.O. y López M.E. (2008). Una solución factible para la clarificación de aguas para consumo humano. *Revista Betsime*. [En línea]. <http://www.betsime.disaic.cu/secciones/tec101.htm>. [Consultado en marzo de 2016].
- Noguera-Talavera, A., Reyes-Sánchez, N., Membreño, J., Duarte-Aguilar, Mendieta-Araica. C.B. (2014). Calidad de plántulas de tres especies forrajeras (*Moringa oleifera* Lam., *Leucaena leucocephala* y *Cajanus cajan*) en condiciones de vivero. *La Calera* 14: 21-27.
- Navarro, M., Cicero, S.M. y Gomes-Junior F.G. (2015a). Determinación de la temperatura de germinación de las semillas de *Moringa oleifera* con apoyo

- de las pruebas de vigor. Cuban Journal of Agricultural Science 49: 509-514.
- Navarro, M., Febles, G. and Herrera R.S. (2015b). El vigor, elemento indispensable de la calidad de las semillas. Cuban Journal of Agricultural Science 49: 447-458.
- Navie, S. & Csurhes, S. (2010). Horseradish Tree. *Moringa oleifera*. Biosecurity Queensland. Department of Employment, Economic Development and Innovation. Brisbane (Australia).
- Nazari, Z., Mirzaie-Nodoushan H., Bakhshi-Khaniki G.R. and Asadiorom F. (2012). Karyotypic characteristics of *Moringa peregrina* (Forssk.) Fiori in Iran. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27: 634-636.
- Nikkon, F., Saud Z.A., Rahman M.H. and Haque M.E. (2003). *In vitro* antimicrobial activity of the compound isolated from chloroform extracted of *Moringa oleifera* Lam. Pakistan Journal of Biological Sciences 6:1888-1890.
- Olson, M.E. (2001). Stem and root anatomical correlations with life form diversity, ecology, and systematics in *Moringa* (Moringaceae). Botanical Journal of the Linnean Society 135: 315–348.
- Olson, M.E. (2002a). Intergeneric relationships within the Caricaceae-Moringaceae clade (Brassicales), and potential morphological synapomorphies of the clade and its Families. International Journal of Plant Sciences 163:51-65.
- Olson, M.E. (2002b). Combining data from DNA sequences morphology for a phylogeny of Moringaceae (Brassicales). Systematic Bot. 27: 55-73.
- Olson, M.E. (2010). Moringaceae. In flora of North America North of Mexico. Flora of North America Editorial Committee (Eds.) Flora of North America Association, New York Oxford. Vol 7: 167-169.
- Olson, M.E. y Fahey J. (2011). *Moringa oleifera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. Revista Mexicana de Biodiversidad 82: 1071-1082.
- Padilla, C., Fraga N. y Suárez M. (2012). Efecto del tiempo de remojo de las semillas de *Moringa* (*Moringa oleifera*) en el comportamiento de la



- germinación y en indicadores del crecimiento de la planta. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 46: 419-421.
- Paiva, P.M., Napoleão T.H., Sá R.A. and Coelho L.C. (2012). Insecticide activity of lectins and secondary metabolites. En: Perveen, F. (Ed.), *Insecticides - advances in integrated pest management*. InTech, Rijeka, pp. 579-598.
- Paliwal R., Sharma Y. and Pracheta. (2011a). A review on horse radish tree (*Moringa oleifera*): A multipurpose tree with high economic and commercial importance. *Asian Journal of Biotechnology* 3: 317-328.
- Paliwal R., Sharma V., Pracheta and Sharma, S.H. (2011b). Hepatoprotective and antioxidant potential of *Moringa oleifera* pods against dmba-induced hepatocarcinogenesis in male mice. *International Journal of Drug Development & Research* 3: 128-138.
- Patel, J.S. and Narayana G.V. (1937). Chromosome numbers of some economic flowering plants. *Curt. Sci.* 5: 479.
- Pallavi, H.M., Madalageri, M.B., Vishwanath, K., Biradar, I.B. and Thattimani, M. (2015). Decortication to enhance seed value and standardization of quick viability test in drumstick (*Moringa oleifera* L.). *Environment & Ecology* 33: 1558-1561.
- Pérez, A., Sánchez T., Armengol N. y Reyes F. (2010a). Características y potencialidades de *Moringa oleifera*, Lamark. Una alternativa para la alimentación animal. *Pastos y Forrajes* 33: 1-10.
- Pérez, R., Cruz J., Vázquez E. y Francisco J. (2010b). *Moringa oleifera*, una alternativa forrajera para Sinaloa. Fundación Produce Sinaloa, A. C. Culiacán, Sinaloa, México.
- Parrotta J.A. (2009). *Moringa oleifera* LAM., *Enzyklopädie der Holzgewächse: Handbuch und Atlas der Dendrologie*. 1-8.
- Peter, K.V. (Ed.). 2008. *Underutilized and Underexploited Horticultural Crops*. New Delhi, India: New India Publishing Agency. Vol. 4.
- Pracheta, Sharma V., Paliwal R., Sharma S., Singh L., Janmeda B.S., Savita, Yadav S., Sharma S.H. (2011). Chemoprotective activity of hydro-ethanolic

- extract of *Euphorbia neriifolia* Linn leaves against DENA-induced liver carcinogenesis in mice. *Biology and Medicine* 3: 36-44.
- Price, M.L. (2007). The Moringa tree. Echo Technical Note. <[http://chenetwork.org/files\\_pdf/Moringa.pdf](http://chenetwork.org/files_pdf/Moringa.pdf)>. ECHO, North Ft. Myers, Florida, USA.
- Rabbani, A.R, Silva-Mann, R., Ferreira, R.A., Pessoa, A.M, Barros, E.S e Mesquita, J.B. Restrição hídrica em sementes de moringa (*Moringa oleifera* L.). *Revista Científica UDO Agrícola* 12: 563-569.
- Ramachandran, C., Peter K.V. and Gopalakrishnan P.K. (1980). Drumstick (*Moringa oleifera*): A multipurpose Indian vegetable. *Economic Botany* 34: 276-283.
- Rashid, U., Anwar F., Moser B.R. and Knothe G. (2008). *Moringa oleifera* Oil: A possible source of biodiesel. *Bioresource Technology* 99: 8175–8179.
- Reyes, A. (2004). Marango. Cultivo y utilización en la alimentación animal. Guía técnica número 5. Universidad Nacional Agraria Nicaragua. Serie Técnica No. 5.
- Rivas, V.M., López P.J., Miranda B.A. y Sandoval M. (2012). Sustitución parcial de harina de sardina con *Moringa oleifera* en alimentos balanceados para juveniles de tilapia (*Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis niloticus*) cultivada en agua de mar. *Biotecnia* 14: 3-10.
- Saha, P., Jena R.C., Sahoo B., Sahoo K. and Lenka A. (2012). Sufficing nutraceutical rich multipurpose leafy vegetable on Earth: Moringa. *Odisha Review* 69: 72-80.
- Saini, R.K., Shetty N.P., Giridhar P. and Ravishankar G.A. (2012). Rapid *in vitro* regeneration method for *Moringa oleifera* and performance evaluation of field grown nutritionally enriched tissue cultured plants. *3 Biotech* 2:187–192.
- Shahzad, U., Jaskani M.J., Kha I.A., Khan M.A., Korban S.S. and Khan M.A. (2013). Genetic diversity and population structure of *Moringa oleifera*. *Conservation Genetics* 4: 1161-1172.

- Sharma V., Paliwal R., Pracheta and Sharma S. (2011). Phytochemical analysis and evaluation of antioxidant activities of hydro-ethanolic extract of *Moringa oleifera* Lam. pods. *Journal of Pharmacy Research* 4: 554-557.
- Silva, A., Alves M., Santos K., Araújo C. y Menezes L. (2008). Propagação sexuada *in vitro* de moringa (*Moringa oleifera* Lam.). Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros.
- Silva, N., Mendes B.A., Sales J.G. and Pagliarini M.S. (2011). Meiotic behavior and pollen viability in *Moringa oleifera* (Moringaceae) cultivated in southern Brazil. *Genetics and Molecular Research* 10: 1728-1732.
- Tacon, A.G. (1995). Ictiopatología nutricional. Signos morfológicos de la carencia y toxicidad de los nutrientes en los peces cultivados (Documento Técnico de Pesca No. 330). Roma: FAO.
- Takhtajan, A. (2009). Flowering plants. Springer Science & Business Media.
- Tapia-Pastrana, F., Mercado-Ruaro P. y Gómez-Acevedo, S. (2012). Contribución a la citogenética de *Tamarindus indica* (Leguminosae: Caesalpinioideae). *Acta Botánica Mexicana* 98: 99-110.
- Toral, O., Cerezo Y., Reino J. y Santana H. (2013). Caracterización morfológica de ocho procedencias de *Moringa oleifera* (Lam.) en condiciones de vivero. *Pastos y Forrajes* 36: 409-416.
- Torres, C.J., Sinagawa G.S., Martínez A.G., López F.A., Sánchez G.E., Aguirre A.V., Torres A.R., Olivares S.E., Osorio H.E. and Gutiérrez D.A. (2013). *Moringa oleifera*: phytochemical detection, antioxidants, enzymes and antifungal properties. *International Journal of Experimental Botany* 82: 193-202.
- Tsaknis, J., Lalas S., Gergis, V., Dourtoglou, V., and Spiliotis V. (1999). Characterization of *Moringa oleifera* variety Mbololo seed oil of Kenya. *J. Agric. Food Chem.* 47: 4495-4499.
- Valdés, R.O.A., Palacios W.O.M., Ruiz H.R. y Pérez V.A. (2014). Potencial de la asociación Moringa y Ricinus en el subtrópico Veracruzano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9: 1673-1686.

- Villarreal, G.A. y Ortega, A.K. (2014). Revisión de las características y usos de la planta *Moringa oleifera*. *Investigación & Desarrollo* 22: 309-330.
- Warra, A. (2014). A review of *Moringa oleifera* Lam seed oil prospects in personal care formulations. *Research and reviews. Journal of Pharmaceutics and Nanotechnology* 2: 31-34.
- Zanne A.E., Lopez-Gonzalez G., Coomes D.A., Ilic J., Jansen S., Lewis S.L., Miller R.B., Swenson N.G., Wiemann M.C. and Chave J. (2009). Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum. Dryad Digital Repository. <http://dx.doi.org/105061/dryad.234>.