



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

**PROPAGACIÓN SEXUAL DE *Bursera*
*linanoe***

ARELI MADAI GUZMÁN POZOS

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2017

La presente tesis titulada: **Propagación sexual de *Bursera linanoe*** realizada por la alumna: **Areli Madai Guzmán Pozos** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
EN CIENCIAS FORESTALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



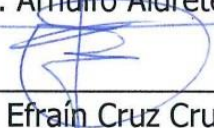
Dr. Carlos Ramírez Herrera

ASESOR



Dr. Arnulfo Aldrete

ASESOR



Dr. Efraín Cruz Cruz

Montecillo, Texcoco, Estado de México, marzo de 2017

Propagación sexual de *Bursera linanoe*

Areli Madai Guzmán Pozos M.C.
Colegio de Postgraduados, 2017

RESUMEN

Bursera linanoe (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina, es una especie con un valor alto tanto económico y social como ambiental. Los objetivos del presente estudio fueron: Evaluar la variación en las características germinativas de semillas de *B. linanoe*; Cuantificar la emergencia de plántulas de *B. linanoe* en vivero; Determinar la variación morfológica de plantas de *B. linanoe* propagadas por semilla en dos tipos de envase y sustrato. Semillas de 20 árboles se utilizaron para el ensayo de germinación de dos evaluaciones: una con semilla recién colectada, otra a los cuatro meses y la última a los ocho meses. Las semillas que se utilizaron en las dos últimas evaluaciones se almacenó en tres temperaturas -10, 4 y 25 °C. La producción de planta se originó de semillas de 20 árboles. Dos tipos de envase y sustrato se probaron. La capacidad germinativa fue 18.5 % para semillas que se escarificaron y de recolecta reciente, mientras que la capacidad germinativa fue 2 % para semillas que no se escarificaron y de recolección reciente. La capacidad germinativa mayor (10.14 y 9.18%) se encontró en las semillas escarificadas que se almacenaron a 4 °C por cuatro y ocho meses, mientras que el valor menor (0.48 %) de esta variable se encontró en las semillas escarificadas que se almacenaron a 25 °C por un periodo de ocho meses. El valor de emergencia varió ampliamente con valores de 43.33 % para semillas del Árbol 2 a 4.86 % para semillas del Árbol 9. El Árbol 5 y 6 fueron los que mostraron los mejores valores de crecimiento. El Árbol 1 y 4 fueron los que presentaron los valores más bajos de crecimiento.

Palabras clave: *Bursera linanoe*, capacidad de germinación y emergencia, escarificación, características morfológicas

(Propagación sexual de *Bursera linanoe*) TÍTULO EN TRADUCIDO INGLÉS

Areli Madai Guzmán Pozos M.C.
Colegio de Postgraduados, 2017

ABSTRACT

Bursera linanoe (The Key) Rzedowski, Calderón & Medina, is a species with a high economic, social and environmental value. The objectives of the present study were: To evaluate the variation in germinative characteristics of *B. linanoe* seeds; Quantifying the emergence of *B. linanoe* seedlings in nursery; To determine the morphological variation of seed propagated *B. linanoe* plants in two types of container and substrate. Seeds of 20 trees were used for the germination test of two evaluations: one with freshly harvested seed, another at four months and the last one at eight months. The seeds that were used in the last two evaluations were stored at three temperatures - 10, 4 and 25 ° C. Plant production originated from seeds of 20 trees. Two types of packaging and substrate were tested. The germination capacity was 18.5% for seeds that were scarified and from recent harvest, while the germination capacity was 2% for seeds that did not scarify and from recent collection. The highest germination capacity (10.14 and 9.18%) was found in scarified seeds stored at 4 ° C for four and eight months, while the lowest value (0.48%) of this variable was found in the scarified seeds that were stored At 25 ° C for a period of eight months. The emergency value varied widely with values of 43.33% for Tree 2 seeds to 4.86% for Tree 9 seeds. Tree 5 and 6 were the ones that showed the best growth values. Tree 1 and 4 were the ones with the lowest growth rates.

Key words: *Bursera linanoe*, germination and emergency capacity, scarification, morphological characteristics.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien es mi razón de ser, por la vida que me presta para culminar otro proyecto.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico brindado durante la realización de los estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados (COLPOS) por la oportunidad de continuar con mi formación académica.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por el apoyo brindado en mis estudios de maestría en sus instalaciones.

Al Dr. Carlos Ramírez Herrera, por la oportunidad de trabajar en equipo, por su dirección en la investigación, por sus consejos, revisiones y aportaciones.

Al Dr. Arnulfo Aldrete, por su contribución, revisión al trabajo de tesis y apoyo para los experimentos realizados, que fueron de gran ayuda.

Al Dr. Efraín Cruz Cruz, por su asesoría, revisión del trabajo de tesis y quien con la experiencia en la especie enriqueció la investigación, además por su apoyo en la obtención de los permisos para realizar el presente estudio de tesis.

A todos los profesores-investigadores que aportaron conocimientos valiosos y me motivaron a tomar una actitud crítica y autodidacta.

A cada uno de los compañeros del Colegio de Postgraduados con quienes coincidimos en el proceso de aprendizaje, en especial a mi amiga Nichdali, a quién considero como una hermana por su apoyo inmenso.

A don Antonio y doña Victoria por su apoyo incondicional y motivación a mi persona para siempre seguir adelante.

DEDICATORIA

A mis padres José Luis Guzmán Pacheco y Socorro Pozos Gasca;

Por su amor y apoyo incondicional.

A mis hermanos Damaris y Esdras;

Quienes son bendiciones para mi persona y una motivación inmensa para seguir esforzándome.

A mi abuela Rafaela;

Por tus oraciones y amor enorme.

CONTENIDO

| | |
|--|------|
| RESUMEN..... | iii |
| ABSTRACT | iv |
| AGRADECIMIENTOS..... | v |
| DEDICATORIA..... | v |
| LISTA DE CUADROS | viii |
| LISTA DE FIGURAS | ix |
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| 1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL..... | 1 |
| 1.2. BIBLIOGRAFÍA..... | 3 |
| CAPÍTULO II..... | 6 |
| GERMINACIÓN Y EMERGENCIA DE <i>Bursera linanoe</i> DE UNA POBLACIÓN DE LA SIERRA DE HUAUTLA MORELOS..... | 6 |
| 2.1. RESUMEN..... | 6 |
| 2.2. SUMMARY | 7 |
| 2.3. INTRODUCCIÓN..... | 8 |
| 2.4. MATERIALES Y MÉTODOS | 10 |
| 2.4.1. Recolección y beneficio de la semilla | 10 |
| 2.4.2. Germinación inicial | 10 |
| 2.4.3. Germinación de semilla almacenada en periodos diferentes..... | 11 |
| 2.4.4. Emergencia de plántulas..... | 11 |
| 2.4.5. Viabilidad de semillas | 12 |
| 2.4.6. Análisis estadístico..... | 13 |
| 2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 14 |
| 2.5.1. Germinación inicial | 14 |
| 2.5.2 Germinación de semilla almacenada en periodos diferentes..... | 15 |
| 2.5.3. Emergencia de plántulas..... | 19 |
| 2.5.4. Viabilidad de semillas | 21 |
| 2.6. CONCLUSIONES..... | 22 |
| 2.7. BIBLIOGRAFÍA..... | 22 |
| CAPÍTULO III..... | 27 |
| CRECIMIENTO Y VARIACIÓN MORFOLÓGICA DE PLANTAS DE <i>Bursera linanoe</i> | 27 |
| 3.1. RESUMEN..... | 27 |
| 3.2. SUMMARY | 28 |
| 3.3. INTRODUCCIÓN..... | 29 |
| 3.4. MATERIALES Y MÉTODOS | 30 |
| 3.4.1. Ensayo de progenies en dos tipos de envases..... | 30 |
| 3.4.2. Ensayo de plantas en dos tipos de envase con dos tipos de sustrato | 31 |
| 3.4.3. Análisis estadístico..... | 32 |
| 3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 33 |
| 3.5.1. Ensayo de progenies en dos tipos de envases..... | 33 |

| | |
|---|----|
| 3.5.2. Ensayo de plantas en dos tipos de envase con dos tipos de sustrato | 45 |
| 3.6. CONCLUSIONES..... | 58 |
| 3.7. BIBLIOGRAFÍA..... | 59 |

LISTA DE CUADROS

Página

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Valores promedios \pm error estándar de las características germinativas de semillas de <i>B. linanoe</i> | 15 |
| Cuadro 2. Valores promedios \pm error estándar de características morfológicas de las plantas de <i>B. linanoe</i> de 20 árboles..... | 35 |
| Cuadro 3. Valores promedio \pm error estándar de características de las raíces de las plantas de <i>B. linanoe</i> | 37 |
| Cuadro 4. Valores promedio \pm error del peso seco aéreo y radical de plantas de <i>B. linanoe</i> | 39 |
| Cuadro 5. Valores promedio \pm error de la biomasa aérea y total de plantas de <i>B. linanoe</i> de 20 árboles. | 41 |
| Cuadro 6. Valores promedio \pm error de los índices de calidad de plantas de <i>B. linanoe</i> de 20 árboles. | 43 |
| Cuadro 7. Valores promedio \pm error estándar de características morfológicas de plantas de <i>B. linanoe</i> evaluadas en dos tipos de envase y sustrato. | 45 |
| Cuadro 8. Valores promedio \pm error estándar de las características de peso y biomasa de plantas de <i>B. linanoe</i> evaluadas en dos tipos de envase y sustratos. | 50 |
| Cuadro 9. Valores promedio \pm error estándar de los índices de calidad de plantas de <i>B. linanoe</i> evaluadas en dos tipos de envase y sustratos. | 55 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|--|--------|
| Figura 1. Valores promedio \pm error estándar de la capacidad de emergencia de plántulas de 20 árboles <i>B. linanoe</i> | 20 |
| Figura 2. Valores promedio \pm error estándar de la viabilidad de las semillas 10 árboles de <i>B. linanoe</i> | 21 |

CAPÍTULO I.

1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La selva baja caducifolia es un ecosistema con un número alto de especies endémicas de plantas y animales (Gallardo-Cruz *et al.*, 2005; Vázquez *et al.*, 2009). El género *Bursera*, con un número superior a las 100 especies, crece en la selva baja caducifolia desde el sur de Estados Unidos hasta Sudamérica (De la Cerda-Lemus, 2011). *Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina, conocida como linaloe, es una especie que crece en este tipo de ecosistemas en los Estados de Puebla, Guerrero, Morelos y Oaxaca (Rzedowski *et al.*, 2005). Esta especie tiene un valor alto tanto económico, social como ambiental (Fuentes-López *et al.*, 2009; Hernández *et al.*, 2013).

Los frutos de *B. linanoe* se aprovechan para obtener un aceite que se utiliza en perfumería y medicina (Solares-Arenas *et al.*, 2009); la madera se usa para postes, cercas vivas y elaboración de artesanía tales como cajas y baúles (Torres *et al.*, 2008; Orozco-Cirilo, *et al.*, 2009); la especie puede adaptarse a ambientes desfavorables con temperaturas altas y humedad baja, por tener raíces que se extienden a profundidades considerables para alcanzar fuentes profundas de agua (Duran *et al.*, 2014). Además, plantas de esta especie pierden sus hojas en la época de sequía lo que permite disminuir su tasa de transpiración y sobrevivir en ambientes secos con suelos someros (Maass *et al.*, 2005).

Las poblaciones de *B. linanoe* tienen un alto grado de deterioro y fragmentación, por las actividades antropogénicas en las regiones donde esta especie crece. El ganado bovino y caprino dañan las plantas jóvenes de esta especie por el ramoneo (Cruz-Cruz *et al.*, 2009); y el avance de la agricultura y fruticultura disminuyen la densidad de las plantas y la superficie cubierta por la especie (Cruz-Cruz *et al.*, 2009).

La propagación de *B. linanoe* se puede realizar por estaca y semilla (Bonfil *et al.*, 2007; Hernández *et al.*, 2013). La propagación vegetativa produce plantas idénticas a la planta de donde se obtuvo el

germoplasma (Ruano, 2008). La propagación sexual tiene como ventaja la variabilidad genética, lo cual permite adaptarse a las modificaciones del ecosistema y así permanecer en sus áreas de distribución actual (Fenner y Thompson, 2005). Sin embargo, la semilla de *B. linanoe* tiene una capacidad germinativa baja como consecuencia de la latencia presente en las semillas (Andrés y Espinosa, 2002; Bonfil-Sanders *et al.*, 2008). La latencia física y fisiológica se reporta para las semillas de *B. linanoe*, en estudios realizados en diferentes procedencias (Cruz-Cruz *et al.*, 2009).

Las ventajas de establecer plantaciones con especies nativas, es la adaptación a las condiciones ambientales locales, importancia ecológica y económica local (Rodríguez, 2008). La repoblación y recuperación de áreas degradadas con especies forestales nativas depende de la producción de planta con características morfológicas deseables (Zumkeller *et al.*, 2009). Generalmente las plantas deben tener la capacidad de sobrevivir en ambientes hostiles con precipitación baja, insolación alta y fertilidad baja del suelo (Ruano, 2008). Las características morfológicas de la planta se relacionan con un desarrollo radical óptimo el cual contribuye con el crecimiento aéreo de la planta (Landis *et al.*, 1990). Actualmente, la información sobre germinación y características morfológicas de plantas en la especie de *B. linanoe* es escasa, por lo que los objetivos de la presente investigación fueron: 1. Evaluar la variación en las características germinativas de semillas de *Bursera linanoe* en condiciones de laboratorio; 2.- Cuantificar la emergencia de plántulas de *Bursera linanoe* en vivero; y 3. Determinar la variación morfológica de plantas de *Bursera linanoe* propagadas por semilla en dos tipos de envase y sustrato.

1.2. BIBLIOGRAFÍA

- Andrés Hernández A. R. y D. Espinosa Organista (2002)** Morfología de plántulas de *Bursera* Jacq. ex L. (Burseraceae) y sus implicaciones filogenéticas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 70: 5-12.
- Bonfil-Sanders C., P. E. Mendoza-Hernández y J. A. Ulloa-Nieto (2007)** Enraizamiento y formación de callos en estacas de siete especies del género *Bursera*. *Agrociencia* 41: 103-109.
- Bonfil-Sanders C., I. Cajero-Lázaro y R. Y. Evans (2008)** Germinación de semillas de seis especies de *Bursera* del centro de México. *Agrociencia* 42: 827-834.
- Castro Laportte M. (2013)** Estudio taxonómico del género *Bursera* Jacq. Ex L. (Burseraceae) en Venezuela. *ERNSTIA* 23: 125-169.
- Cruz-Cruz E., V. Mariles-Flores, M. Gómez-Cárdenas y D. Vargas-Álvarez (2009)** Fundamentos Técnicos para el Manejo de Poblaciones Naturales de Linaloe (*Bursera linanoe* (La llave) Rzedowski, Calderón & Medina) en México. INIFAP-Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxaca. México. Libro Técnico No. 14. 289 p.
- De la Cerda-Lemus M. E. (2011)** La familia Burseraceae en el Estado de Aguascalientes, México. *Acta Botánica Mexicana* 94: 1-25.
- Durán Guerra O., A. Quintanar Isaías, J. Villanueva Díaz, A. T. Jaramillo-Pérez y J. Cerano Paredes (2014)** Características anatómicas de la madera de *Bursera lancifolia* (Schltdl.) Engl. con potencial dendrocronológico. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 05: 76-87.
- Fenner M. y K. Thompson (2005)** The Ecology of Seeds. Cambridge University Press, Cambridge. 250 p.

- Gallardo-Cruz J. A., J. A. Meave y E. A. Pérez-García (2005)** Estructura, composición y diversidad de la selva baja caducifolia del Cerro Verde, Nizanda (Oaxaca), México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 76:19-35.
- Hernández Vásquez R., E. Cruz Cruz, G. O. Díaz Zorrilla, M. I. Pérez León, S. Lozano Trejo y V. A. Velasco Velasco (2013)** Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio en estacas de linaloe (*Bursera linanoe*) Andresen. *REMEXCA* 06: 1119-1128.
- Landis T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald y J. P. Barnett (1990)** Contenedores y medios de crecimiento. Vol. 2. *In: Manual de Viveros para la Producción de Especies Forestales en Contenedor. Manual Agrícola 674.* Washington, DC: U. S. Departamento de Agricultura de los EU. Servicio Forestal. 91 p.
- Maass, J., P. Balvanera, A. Castillo, G. C. Daily, H. A. Mooney, P. Ehrlich, M. Quesada, A. Miranda, V. J. Jaramillo, F. García-Oliva, A. Martínez-Yrizar, H. Cotler, J. López-Blanco, A. Pérez-Jiménez, A. Búrquez, C. Tinoco, G. Ceballos, L. Barraza, R. Ayala, and J. Sarukhán (2005)** Ecosystem services of tropical dry forests: insights from long-term ecological and social research on the Pacific Coast of Mexico. *Ecology and Society* 10: 17.
- Rodríguez Trejo D. A. (2008)** Indicadores de Calidad de Planta Forestal. México, Texcoco. Mundi-Prensa. 156 p.
- Ruano Martínez J. R. (2008)** Viveros Forestales. 2ª edición. Madrid: Ediciones Mundi Prensa. 285 p.
- Rzedowski J., R. Medina Lemos y G. Calderón de Rzedowski (2005)** Inventario del conocimiento taxonómico, así como de la biodiversidad y del endemismo regionales de las especies mexicanas de *Bursera* (Burseraceae). *Acta Botánica Mexicana* 70: 85-111.
- Solares-Arenas F., E. Cruz-Cruz, M. Gómez-Cárdenas, D. Vargas-Álvarez, A. Borja-de la Rosa, V. Mariles-Flores, V. Serrano-Altamirano, M. E. Fuentes-López, S. Orozco-Cirilo, J. F.**

Castellanos-Bolaños y D. Ayerde-Lozada (2009) El proceso de extracción de aceite de linaloe (*Bursera linanoe* (La Llave) Rzedodwski, Calderon & Medina) en los Estados de Morelos y Guerrero. *In: Fundamentos Técnicos para el Manejo de Poblaciones Naturales de Linaloe* (*Bursera linanoe* (La llave) Rzedowski, Calderón & Medina) en México. E. Cruz-Cruz, V. Mariles-Flores, M. Gómez-Cárdenas y D. Vargas Álvarez (Comp.). INIFAP- Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etna, Oaxaca. México. Libro técnico 14:177-196.

Torres J., R. Castro y D. Grande (2008) Cercas de uso pecuario en la cuenca del río La Antigua, México: Inventario florístico y costo de construcción. *Zootecnia Tropical*. 26: 279-283.

Trejo I., and R. Dirzo (2000) Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national analysis in Mexico. *Biological Conservation* 94: 133-142.

Vázquez L., H. Moya y M. del Coro Arizmendi (2009) Avifauna de la Selva Baja Caducifolia en la Cañada del río Sabino, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80:535-549.

Zumkeller Sabonaro D., J. A. Galbiatti, R. C. de Paula y J. L. Soto Gonzales (2009) Producción de plantas de *Tabebuia heptaphylla* en diferentes sustratos y niveles de irrigación, en condiciones de invernadero. *Bosque* 30: 27-35.

CAPÍTULO II.

GERMINACIÓN Y EMERGENCIA DE *Bursera linanoe* DE UNA POBLACIÓN DE LA SIERRA DE HUAUTLA MORELOS

2.1. RESUMEN

Bursera linanoe (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina, es una especie con valor económico y social alto. La germinación de las semillas es un problema para la producción de planta de esta especie. Los objetivos fueron: estimar la variación en las características germinativas de semillas de *B. linanoe* y cuantificar la emergencia de plántulas de esta especie. Las semillas se recolectaron de 20 árboles en el ejido de Huautla en el municipio de Tlaquiltenango, Morelos. Las semillas se almacenaron a 15 °C. Un ensayo se estableció con semillas recién recolectadas. El segundo ensayo se realizó con semillas que se almacenaron a -10, 4 y 25 °C por cuatro y ocho meses. Dos tratamientos de escarificación se aplicaron a las semillas en ambos ensayos. La capacidad germinativa, valor pico y días para alcanzar el valor pico se registraron. También, un ensayo se estableció para evaluar emergencia de plántulas de 20 árboles. En el primer ensayo de germinación, las capacidades germinativas fueron 2 y 18.5 % para las semillas no escarificadas y escarificadas, respectivamente. El valor pico fue 0.09 y se alcanzó en 19 días para semillas no escarificadas, mientras que el valor pico fue 0.46 y se alcanzó en 40 días para semillas escarificadas. En el segundo ensayo, la capacidad germinativa mayor (10.14 %) se encontró en las semillas que se escarificaron y almacenaron a 4 °C por cuatro meses, mientras que el valor menor (0.48 %) se registró en las semillas que se escarificaron y almacenaron a 25 °C por ocho meses. La capacidad mayor (43 %) de emergencia se encontró en las plántulas del Árbol 2, mientras que el valor menor (5 %) se registró en plántulas del Árbol 9. La germinación de semillas y emergencia de plántulas fue baja y lenta.

Palabras clave: *Bursera linanoe*, capacidad de germinación y emergencia, escarificación.

2.2. SUMMARY

Bursera linanoe (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina is a species with high economic and social value. The seed germination is a problem to produce seedlings of this species. The objectives were: To estimate the variation in germinative traits of *B. linanoe* seeds and quantify the emergence of seedlings of this species. Seeds were collected from 20 trees in the Huautla ejido in Tlaquiltenango county, Morelos state. Seeds were stored at 15 °C. A test was established using seeds immediately they were collected. The second test was set using seeds that were stored at -10, 4 and 25 °C for four and eight months. Two scarification treatments were applied to the seeds in both tests. Germinative capacity, pick value and number of days to reach the pick value were recorded. Also, a test was set to evaluate seedling emergence of 20 trees. In the first test, the germinative capacities were 2 and 18.5 % for non-scarified seeds and scarified seeds, respectively. The pick value was 0.09, and it took 19 days for non-scarified seeds, while the pick value was 0.46, and it took 40 days for scarified seeds. In the second test, the highest germinative capacity (10.14 %) was found in the seeds that scarified and stored at 4 °C for four months, while the lowest value (0.48 %) was recorded in the seeds that scarified and stored at 25 °C for eight months. The highest emergence capacity (43 %) was found in the seedlings from the tree 2 while the lowest value (5 %) was recorded in the seedlings from the tree 9. The seed germination and seedlings emergence were low and slow.

Index words: *Bursera linanoe*, germinative and emergence capacity, scarification.

2.3. INTRODUCCIÓN

Bursera linanoe (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina, (linaloe), se distribuye en los estados de Puebla, Guerrero, Morelos y Oaxaca (Rzedowski *et al.*, 2005). Esta especie tiene un valor económico, social y ambiental alto (Hernández *et al.*, 2013). Los frutos de *B. linanoe* se aprovechan para extraer el aceite que se utiliza en la industria de la perfumería y medicina (Cruz-Cruz *et al.*, 2009); la madera se usa para la elaboración de artesanía y postes para cercas vivas (Torres *et al.*, 2008); las poblaciones de *B. linanoe* tienen un deterioro alto por las actividades económicas de los pobladores en las regiones donde la especie crece (Cruz-Cruz *et al.*, 2009).

La semilla de las especies tropicales presentan latencia como estrategia que les permite sobrevivir a condiciones extremas de temperatura y precipitación (Rodríguez, 2008). La latencia física es la principal característica con la que cuentan las semillas del trópico y las fluctuaciones de temperatura o fuego permiten la ruptura de la testa (Fenner y Thompson, 2005). Las semillas de *B. linanoe* se registran con la presencia de latencia física y fisiológica (Cruz-Cruz *et al.*, 2009). Las condiciones ambientales y ecológicas influyen en el tamaño y forma de las semillas de muchas especies que crecen en la selva baja caducifolia (Ortiz-Pulido and Rico-Gray, 2006; Ruano, 2008), la variación en el tamaño de las semillas puede ocurrir entre árboles dentro de la población, en la planta y en los frutos (Fenner y Thompson, 2005). Las condiciones de temperatura, la intensidad de luz, duración del día, las condiciones de sequía y los nutrientes que están presentes en el desarrollo de la semilla en la planta madre antes de su dispersión, influyen en la germinación (Ortiz-Pulido and Rico-Gray, 2006; Ruano, 2008).

La mayoría de la semilla de especies del género *Bursera* tienen el endocarpio lignificado como una característica que permite disminuir el daño de insectos, característica presente en las semillas de *B. linanoe* (Ramos-Ordoñez *et al.*, 2012). Sin embargo, el endocarpio lignificado es una barrera física que

impide la imbibición de agua, obstaculiza el crecimiento del embrión y por lo tanto su germinación (Baskin y Baskin, 2001; Ramos-Ordoñez *et al.*, 2012).

La regeneración natural de la especie de *B. linanoe* es escasa con un predominio de individuos adultos, condición que pone en riesgo de desaparecer las poblaciones de esta especie (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2009). La propagación asistida de *B. linanoe* es importante para la reforestación y establecimiento de plantaciones locales y asegurar la repoblación en su área de distribución natural (Duran *et al.*, 2014). Esta especie se puede propagar a través de estaca y por semilla (Hernández *et al.*, 2013). Sin embargo, *B. linanoe* presenta asincronía en la maduración de los frutos y el periodo largo entre años semilleros, lo que afecta la disponibilidad de semilla para un programa de plantaciones (Ramos-Ordoñez *et al.*, 2012). Además, *B. linanoe* registra un porcentaje alto de semillas abortadas, lo cual dificulta aún más su propagación (Andrés y Espinosa, 2002).

La semilla de *B. linanoe* tiene una capacidad baja de germinación por la presencia de la latencia física y fisiológica o la combinación de ambas (Cruz-Cruz *et al.*, 2009). La cosecha de semilla de *B. linanoe* es incierta de un año a otro para asegurar la disponibilidad de semilla para la producción de planta (Gómez-Cárdenas *et al.*, 2009); la información acerca del almacenamiento de las semillas de *B. linanoe* es aun escasa. Por todo lo anterior se requieren investigaciones para conocer las variantes en la multiplicación de la especie y que incluye la germinación de la semilla. Por lo cual los objetivos de la presente investigación fueron: Estimar la variación en las características germinativas de semillas de *Bursera linanoe* en condiciones de laboratorio y cuantificar la emergencia de plántulas de *Bursera linanoe* en condiciones de vivero. Se establecieron las siguientes hipótesis: Las semillas de *B. linanoe* recién recolectadas responderán favorables al tratamiento de escarificación y la capacidad germinativa disminuirá al estar expuestas a extremos de temperatura alta o bajas. La emergencia de plántulas de *B. linanoe* registrará una amplia variabilidad por la procedencia de sus familias.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1. Recolección y beneficio de la semilla

Los frutos se recolectaron de 20 árboles de *Bursera linanoe* en Huautla Morelos, en agosto de 2015. Esta comunidad pertenece a la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, la cual se localiza al sur del estado de Morelos y está cubierta principalmente por selva baja caducifolia. Los árboles se seleccionaron con base en altura, diámetro, vigor, sanidad y producción de frutos. Una etiqueta con un número consecutivo se colocó en cada árbol y se registró su ubicación geográfica con un GPS. El indicador para la recolecta fue el color y tamaño del fruto, además de las semillas expuestas de algunos frutos en el árbol. La distancia mínima fue 30 m entre árboles seleccionados para evitar recolectar árboles emparentados.

Los frutos de los árboles se recolectaron y colocaron en bolsas de papel Kraft, las cuales se etiquetaron con el número de árbol asignado. Las bolsas con los frutos se transportaron al laboratorio de semillas del INIFAP Campo Experimental Zacatepec. Estos se extendieron sobre papel periódico y dejaron por una semana para la apertura de las valvas y separación de las semillas. Los frutos se removieron todos los días para evitar el desarrollo de hongos. Las semillas se separaron de valvas y hojas utilizando tamices de diferentes diámetros. Las semillas de cada uno de los árboles se almacenaron a 15 °C en frascos de vidrio debidamente etiquetados. Sólo las semillas negras se seleccionaron. Las semillas con testa de otros colores se eliminaron (Cruz-Cruz *et al.*, 2009).

2.4.2. Germinación inicial

Una muestra de 400 semillas se seleccionó del compuesto masal. Doscientas semillas se escarificaron con ácido sulfúrico a una concentración del 98 % por 30 min (Cruz-Cruz *et al.*, 2009). Las otras doscientas semillas no se sometieron a algún tratamiento de escarificación. Los dos tratamientos se colocaron en un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones. Cada repetición consistió de 50

semillas. Las semillas se colocaron sobre papel absorbente en cajas de plástico de 11.5 x 19.5 cm. El papel absorbente se humedeció con 200 ml de agua. Las cajas de plástico con las semillas se colocaron en una cámara de ambiente controlado a 25 °C por 60 días. El registro de la germinación se realizó diariamente. Una semilla se consideró germinada cuando su radícula alcanzó el tamaño aproximado de la semilla, la cual no se reemplazó en el ensayo (Godínez-Álvarez, 1999).

2.4.3. Germinación de semilla almacenada en periodos diferentes

Muestras de semillas del compuesto masal se almacenaron en cámaras con ambientes controlados a temperaturas -10, 4 y 25 °C. Una muestra de 414 semillas se seleccionó del compuesto, por temperatura. Doscientas siete semillas se escarificaron con ácido sulfúrico a una concentración del 98 % por 30 min. Las otras 207 semillas no se sometieron a algún tratamiento de escarificación. Las semillas en la cámara con ambiente controlado se germinaron sobre papel absorbente en cajas de plástico a los cuatro y ocho meses después de su almacenamiento. El papel absorbente se humedeció con 200 ml de agua. Los tratamientos se colocaron en un diseño de bloques al azar con 23 bloques. Seis tratamientos en cada bloque. Una solución de Captan® al 1 % se agregó a cada caja para evitar la proliferación de hongos. Las cajas de plástico se colocaron en la cámara de ambiente controlado a una temperatura de 25 °C por 60 días. El registro de la germinación se realizó diariamente. Una semilla se consideró germinada cuando su radícula alcanzó el tamaño aproximado de la semilla, la cual no se reemplazó en el ensayo (Godínez-Álvarez, 1999).

2.4.4. Emergencia de plántulas

Doscientas semillas de cada uno de los 20 árboles de *B. linanoe* se separaron en cuatro muestras de 50 semillas las cuales se colocaron en vasos de precipitados. Las semillas en el vaso se cubrieron con 25 ml de jabón líquido por 30 minutos. Posteriormente, las semillas se lavaron en una canasta metálica y el arilo de la semilla se eliminó. La escarificación de las semillas sin arilo se realizó con ácido sulfúrico

al 98 % por 30 minutos (Cruz-Cruz *et al.*, 2009). El ácido sulfúrico se removió y las semillas se lavaron con agua corriente por cinco minutos. Las semillas se dejaron en agua potable por 12 h antes de la siembra. Subsecuentemente, las semillas se sembraron en charolas de plástico (37 x 47 cm) con un sustrato elaborado con la mezcla: turba (peat moss) (60 %), agrolita (30 %) y vermiculita (10 %). Las semillas se colocaron en un diseño en bloques al azar con 26 repeticiones y 15 semillas por repetición. Las charolas se pusieron en un túnel de plástico. La emergencia se registró diariamente por 110 días. Una plántula se consideró emergida cuando fue posible ver esta fuera del sustrato con su epicótilo y cotiledones abiertos.

2.4.5. Viabilidad de semillas

Una prueba de viabilidad se realizó después de observar una emergencia baja de las semillas de árboles *B. linanoe*. Las semillas estuvieron almacenadas a 15 °C por 14 meses. Noventa semillas de cada uno de 10 árboles se incluyeron en esta prueba por la disponibilidad de semillas. La identificación de las semillas se mantuvo durante el experimento. Las semillas se cortaron con un bisturí por la mitad a lo largo del embrión. La testa se removió con una aguja de disección. El embrión con su endospermo se sumergieron en 50 µl de una solución al 1 % de tetrazolium (cloruro de 2, 3, 5-trifenil, C₁₉H₁₅CIN₄) en una placa de plástico con 96 cavidades. Los embriones con sus endospermos, respectivos se colocaron en un diseño de bloques al azar con 10 repeticiones, y nueve embriones con sus endospermos constituyeron una repetición. Las cajas de plástico se pusieron en una cámara de ambiente controlado a 25 °C por 6 horas. Los embriones se colocaron sobre un portaobjetos y se observaron con un estereoscopio. Un embrión se consideró viable cuando éste se tiñó rojo completamente.

2.4.6. Análisis estadístico

Germinación inicial. Las características que se consideraron fueron capacidad germinativa, valor pico y días para alcanzar el valor pico. La capacidad germinativa es el porcentaje final de germinación. El valor pico es el valor máximo de la sumatoria del porcentaje de germinación dividido por el número de días y representa la velocidad de germinación (Kolotelo *et al.*, 2001). Los datos de capacidad germinativa (%) no tuvieron una distribución normal y homogénea por lo que éstos se transformaron con la función *arcoseno* de la raíz cuadrada (Castillo, 2007). Las variables se analizaron con el procedimiento PROC GLM versión 9.4 (SAS, Institute 2012) con el modelo siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + TE_j + \xi_{ijk}$$

Donde Y_{ijk} = es la observación en el i -ésimo bloque, en el j -ésimo tratamiento; μ es la media; B_i es el i -ésimo bloque, TE_j es el j -ésimo tratamiento y ξ_{ijk} es el error experimental.

Germinación de semilla almacenada en periodos diferentes. Los datos para las características de germinación se analizaron con el procedimiento GLM-SAS para Windows versión 9.0 (SAS Institute, 2002) con el modelo siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + P_i + B(P)_{j(i)} + TE_k + TE \times B(P)_{kj(i)} + TA_l + TA \times TE_{lk} + \xi_{ijklm}$$

Dónde: Y_{ijklm} = es la observación i -ésimo periodo de almacenamiento en el j -ésimo bloque en el k -ésimo tratamiento en el l -ésimo ambiente de almacenamiento; μ es la media experimental, P_i es el efecto del i -ésimo periodo de almacenamiento, $B(P)_{j(i)}$ es el efecto del i -ésimo periodo de almacenamiento anidado en el j -ésimo bloque, TE_k es el efecto del k -ésimo tratamiento, $TE \times B(P)_{kj(i)}$ es el efecto del i -ésimo periodo de almacenamiento anidado en el j -ésimo bloque por k -ésimo tratamiento, TA_l es el efecto de la l -ésima temperatura de almacenamiento, $TA \times TE_{lk}$ es el efecto de la l -ésima temperatura de almacenamiento por k -ésimo tratamiento y ξ_{ijklm} es el error experimental.

Emergencia de plántulas. Los datos para las características de emergencia se analizaron con el procedimiento GLM-SAS para Windows versión 9.0 (SAS Institute, 2002) con el modelo siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + AR_j + \xi_{ijk}$$

Dónde: Y_{ijk} es la observación i -ésimo bloque en el j -ésimo árbol; μ es la media experimental, B_i es el efecto del i -ésimo bloque, AR_j es el efecto del j -ésimo árbol y ξ_{ijk} es el error experimental.

Viabilidad de semillas. Los datos de viabilidad no tuvieron una distribución normal y homogénea por lo que éstos se transformaron con la función *arcoseno* de la raíz cuadrada. Los datos para la viabilidad de las semillas se analizaron con el procedimiento GLM-SAS para Windows versión 9.0 (SAS Institute, 2002) con el modelo siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + AR_j + \xi_{ijk}$$

Dónde: Y_{ijk} es la observación i -ésimo bloque en el j -ésimo árbol; μ es la media, B_i es el efecto del i -ésimo bloque, AR_j es el efecto del j -ésimo árbol y ξ_{ijk} es el error experimental.

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1. Germinación inicial

Diferencias significativas ($P \leq 0.05$) se encontraron entre tratamientos para las variables capacidad germinativa y valor pico pero no entre los tratamientos para la variable días para alcanzar el valor pico. La capacidad germinativa mayor fue 18.5 % para las semillas escarificadas mientras que, ésta fue 2 % para las semillas no escarificadas. El valor pico fue 0.46 para semillas escarificadas mientras que éste fue 0.09 para semillas sin escarificación. El número de días para alcanzar el valor pico fue 40 días, mientras que éste fue 19 para semillas no escarificadas.

2.5.2 Germinación de semilla almacenada en periodos diferentes

Diferencias significativas ($P \leq 0.05$) se encontraron entre temperaturas de almacenamiento para las variables capacidad germinativa y días para alcanzar el valor pico, pero no se encontraron entre temperaturas de almacenamiento para valor pico, entre periodos de almacenamiento y escarificación para capacidad germinativa, valor pico y días para alcanzar el valor pico. Los valores de la capacidad germinativa de las semillas de *B. linanoe* fueron bajos tanto a los cuatro como a los ocho meses en almacenamiento tanto para semillas escarificadas como semillas no escarificadas las cuales se almacenaron a temperaturas diferentes (Cuadro 1). El valor mayor de capacidad germinativa se encontró en las semillas que se escarificaron y almacenaron a 4 °C por cuatro y ocho meses (Cuadro 1). Por otro lado, el valor menor de capacidad germinativa se encontró a los ocho meses para las semillas escarificadas y almacenadas a 25 °C.

Cuadro 1. Valores promedios \pm error estándar de las características germinativas de semillas de *B. linanoe*.

| Periodo (meses) | Escarificación | Temperatura de almacén | Capacidad germinativa (%) | Valor pico | Días para alcanzar el valor pico |
|-----------------|----------------|------------------------|---------------------------|-----------------|----------------------------------|
| | | -10 | 5.31 \pm 1.69 | 0.27 \pm 0.09 | 7.17 \pm 2.24 |
| 4 | Si | 4 | 10.14 \pm 2.70 | 0.42 \pm 0.11 | 14.39 \pm 3.57 |
| | | 25 | 4.83 \pm 1.53 | 0.21 \pm 0.07 | 9.60 \pm 3.11 |
| | | -10 | 4.35 \pm 1.35 | 0.32 \pm 0.13 | 8.13 \pm 3.21 |
| 4 | No | 4 | 5.80 \pm 1.95 | 0.22 \pm 0.08 | 11.34 \pm 3.80 |
| | | 25 | 9.66 \pm 1.89 | 0.63 \pm 0.14 | 10.00 \pm 2.11 |

| | | | | | |
|---|----|-----|-------------|-------------|--------------|
| | | -10 | 8.21 ± 1.88 | 0.52 ± 0.12 | 10.17 ± 2.29 |
| 8 | Si | 4 | 9.18 ± 1.93 | 0.50 ± 0.11 | 11.08 ± 2.30 |
| | | 25 | 0.48 ± 0.48 | 0.05 ± 0.05 | 0.39 ± 0.39 |
| | | -10 | 4.83 ± 1.17 | 0.28 ± 0.09 | 9.95 ± 2.83 |
| 8 | No | 4 | 7.25 ± 1.92 | 0.39 ± 0.10 | 10.0 ± 2.71 |
| | | 25 | 0.97 ± 0.67 | 0.07 ± 0.05 | 1.39 ± 1.03 |

Los valores de capacidad germinativa fueron menores para semillas que se almacenaron en periodos y temperaturas diferentes que los valores de esta variable para semillas recién recolectadas y escarificadas que se germinaron en el primer ensayo de la investigación presente. La disminución de la capacidad germinativa se puede deber a un nivel mayor de latencia en la semilla como consecuencia de los factores genéticos y ambientales en los que las semillas crecen y se almacenan (Alatorre-Cobos y Rodríguez-Trejo, 2009; Baskin y Baskin, 2001; Cruz-Cruz *et al.*, 2009). Las semillas de *B. linanoe* fueron sensibles a los cambios extremos de temperatura en el almacenamiento (Alatorre-Cobos y Rodríguez-Trejo, 2009). El ácido sulfúrico pudo dañar los tejidos internos de la semillas con testas delgadas y con esto influir en el porcentaje bajo de germinación de las semillas de *B. linaloe* en la presente investigación. El grosor de la testa de las semillas de *B. linaloe* puede ser variable como en semillas de *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser (Chacón y Bustamante, 2001). La fluctuación en los valores de capacidad germinativa de las semillas de *Bursera linanoe* en la presente investigación fue semejante a las fluctuaciones de los valores de capacidad germinativa, de semilla de *B. bicolor* (Willd. ex Schltld.) Engl. (5.27 a 17.94 %), *B. bipinnata* (D C.) Engl. (0.93 a 11.06 %), *B. copallifera* (DC.) Bullock (0.17 a 6.79 %) y *B. glabrifolia* (H. B. K.) Engl. (3.91 a 13.38 %) (Bonfil-Sanders *et al.*, 2008). Sin embargo, valores mayores de capacidad germinativa se encontraron en semillas de *B.*

linanoe (38 %) (Cruz-Cruz *et al.*, 2009), *B. graveolens* (Kunth) Triana & Planch (30 %) (Morgan y Jose, 2013) y *B. simaruba* (L.) Sarg (40.8 %) (Dunphy y Hamrick, 2007). La capacidad germinativa baja en las semillas de *B. linanoe* y en general del género *Bursera* se puede deber a la presencia de latencia física, pero también de otros tipos diferentes de latencia como fisiológica y morfológica (Baskin y Baskin, 2001; Cruz-Cruz *et al.*, 2009; Rodríguez, 2008). Los estudios sobre latencia fisiológica y morfológica de la semilla de *B. linanoe* son escasos por lo que esto representa un área de oportunidad. Los porcentajes de germinación bajos pueden contribuir con el deterioro y posible pérdida de poblaciones naturales de *B. linanoe* (Dunphy y Hamrick, 2007). Sin embargo, la latencia es una característica que permite a las semillas sobrevivir cuando las condiciones ambientales son adversas para la germinación (Baskin y Baskin, 2001).

Los valores picos fueron muy bajos para las semillas de *B. linanoe* tanto a los cuatro como a los ocho meses en almacenamiento a temperaturas diferentes (Cuadro 1). También, estos valores fueron bajos para semillas escarificadas y semillas no escarificadas. El valor pico mayor se encontró a los cuatro meses en las semillas no escarificadas y almacenadas a 25 °C. Por otro lado, el valor pico menor se registró a los ocho meses para las semillas escarificadas y almacenadas a 25 °C. El valor pico fue ligeramente mayor en semillas almacenadas a cuatro meses que las semillas recién recolectadas. En general, las semillas de *B. linanoe* presentaron una velocidad de germinación muy baja y heterogénea con base en los valores picos los cuales fueron por debajo de cero. Esto mostró una calidad baja de semillas con posibles problemas de latencia (Sánchez *et al.*, 2004). Los valores picos del presente estudio fueron menores que aquellos (1.9 y 2) para semillas de *B. linanoe* que se escarificaron con ácido sulfúrico por 30 minutos y se agregó ácido giberélico en una concentración de 500 y 1000 mg L⁻¹ por 24 horas, respectivamente (Cruz-Cruz *et al.*, 2009). Los valores en el presente estudio fueron menores que los valores picos aproximados (1.1, 1.2 y 2.6) para semillas de *B. bicolor*, *B. copallifera* y

B. glabrifolia, respectivamente (Bonfil-Sanders *et al.*, 2008). Sin embargo, los valores picos pueden ser mucho mayores para especies de clima templado con niveles bajos de latencia. Por ejemplo, el valor pico fue 8.5 para semillas de *P. leiophylla* (Gómez *et al.*, 2010).

El número de días para alcanzar el valor pico fue variable en las semillas de *B. linanoe* a los cuatro y ocho meses en almacenamiento a temperaturas diferentes y con escarificación (Cuadro 1). El número mayor se registró a los cuatro meses en la temperatura a 4 °C con escarificación (Cuadro 1). El valor menor se encontró a los ocho meses en la temperatura a 25 °C y con escarificación (Cuadro 1). El número de días para alcanzar el valor pico fue menor para las semillas almacenadas a temperaturas diferentes que el número de días para alcanzar el valor pico para las semillas de recién recolecta. Los números de días para alcanzar el valor pico fueron mayores que el número (7 y 11) para semillas de *B. linanoe* que se escarificaron con ácido sulfúrico por 30 minutos y se agregó ácido giberélico en una concentración de 500 y 1000 mg L⁻¹ por 24 horas, respectivamente (Cruz-Cruz *et al.*, 2009). Los números de días para alcanzar el valor pico fueron menores para las semillas de *Bursera linanoe* que aquellos (18 días) para las semillas de *B. bicolor*, *B. copallifera* y *B. glabrifolia*, respectivamente (Bonfil-Sanders *et al.*, 2008). La germinación de las semillas de *B. linanoe* terminó después de los 40 días de haber establecido los ensayos de germinación. Resultados similares se reportaron para semillas de *B. bicolor*, *B. copallifera* y *B. glabrifolia* (Bonfil-Sanders *et al.*, 2008). Por lo tanto periodos largos de germinación pueden ser característicos para las semillas del género *Bursera*. Una germinación rápida es una característica de las semillas de algunas especies que crecen en ambiente húmedo, sin embargo la germinación rápida no parece ser una característica de las semillas de especies como *B. linanoe* que crece en ambientes secos (González, 1991).

2.5.3. Emergencia de plántulas

Diferencias significativas ($P \leq 0.05$) se encontraron entre árboles para capacidad de emergencia, de las plántulas de *B. linanoe*. La capacidad promedio de emergencia fue 15.28 % de las semillas de árboles de *B. linanoe*. El valor mayor para capacidad de emergencia se registró en las plántulas del Árbol 2, mientras que el valor menor para esta variable se encontró en las plántulas del Árbol 9 (Figura 1). La capacidad promedio de emergencia de semillas almacenadas a 15 °C por seis meses fue mayor que las capacidades promedios germinativas de las semillas escarificadas y no escarificadas que se almacenaron a -10, 4 y 25 °C por cuatro y ocho meses en la presente investigación. Sin embargo, la capacidad promedio de emergencia fue 3 % menor que la capacidad promedio germinativa para las semillas recién recolectadas y escarificadas con ácido sulfúrico. Información es escasa sobre emergencia de plántulas de *B. linanoe* en la literatura. La capacidad promedio de emergencia de las plántulas de *B. linanoe* fue mayor que la capacidad promedio (< 5 %) de plántula de *B. áptera*, *B. lancifolia*, *B. schlechtendalii*, *B. morelensis*, *B. grandifolia*, *B. longipes*, *B. bicolor* y *B. grabrifolia* sin embargo, la capacidad promedio de emergencia de plántulas de *B. linanoe* en la presente investigación fue menor que las capacidades promedios (28 y 38 %) de emergencia de las plántulas de la *B. submoniliformis* y *B. copallifera*, respectivamente (Andrés y Espinosa, 2002). A nivel árbol, una variación alta se observó en esta característica con un valor mayor de emergencia de las plántulas del Árbol 2 a los promedios que se reportaron en las referencias que se mencionaron con anterioridad (Andrés y Espinosa, 2002). La variabilidad de la capacidad de emergencia que se registró entre las plántulas de los árboles de *B. linanoe* en el presente estudio puede ser resultado de un nivel diferente de latencia de las semillas de árboles diferentes de esta especie. Una intensidad diferente de latencia puede ser una característica que permite a una especie asegurar la supervivencia en lugares con condiciones ambientales extremas (Fenner y Thompson, 2005; Vieira y Scariot, 2006). Por ejemplo, las plántulas

que emergen al inicio de la temporada de lluvia pueden tener una probabilidad mayor de supervivencia que las ventaja sobre plántulas que emergen al final de la temporada de lluvias (Fenner y Thompson, 2005). La intensidad de latencia puede ser resultado de factores genéticos y ambientales (Baskin y Baskin, 2001).

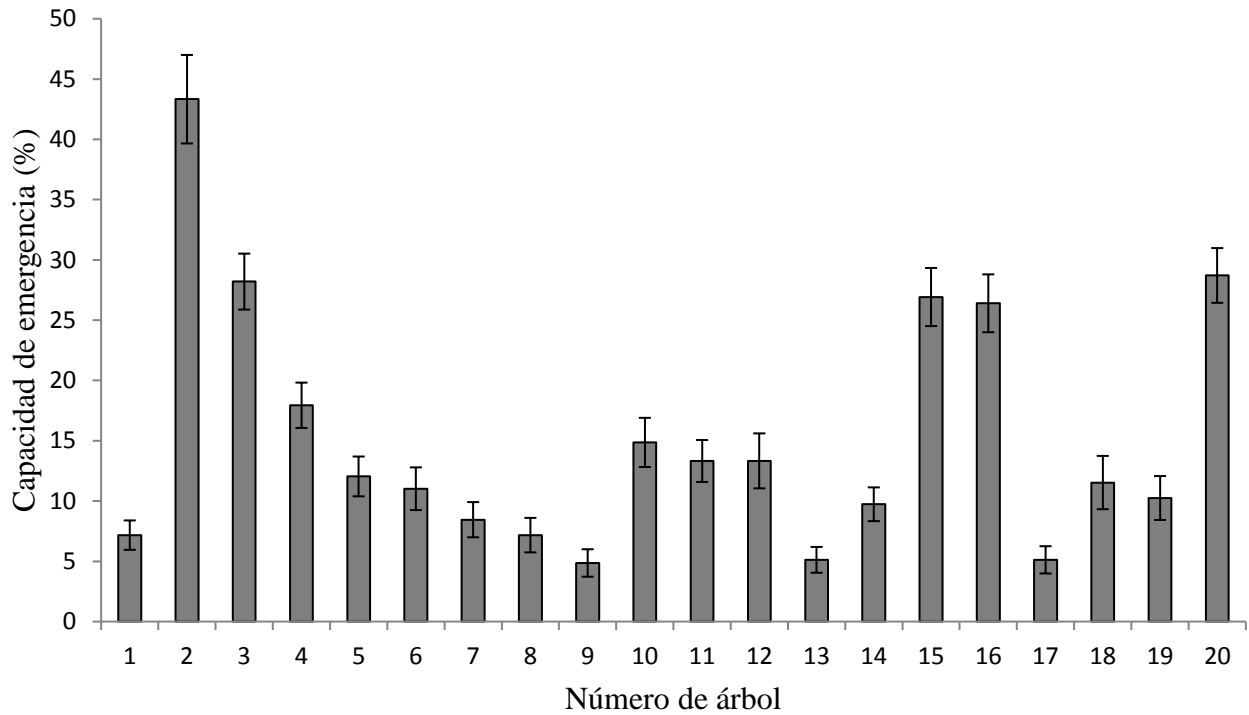


Figura 1. Valores promedio \pm error estándar de la capacidad de emergencia de plántulas de 20 árboles *B. linanoe*.

El promedio de la velocidad de emergencia fue 0.31 de la semilla de árboles de *B. linanoe*. Los valores mayores para velocidad de emergencia se registraron en la semilla de los árboles 2, 3, 15, 16 y 20, mientras que los valores menores para esta variable se encontraron en la semilla de los árboles 1, 8, 9, 13 y 17. El valor de la velocidad de emergencia en las plántulas de *B. linanoe* no registraron gran variación entre los árboles, las cuales fueron inferiores a cero, estas coinciden en algunos valores con lo encontrado en la velocidad de germinación en laboratorio. García *et al.* (2007), mencionan que la

emergencia de las plántulas está influenciada por la temperatura, la cual puede ser positiva o negativa, las plántulas emergen de mejor manera en las condiciones similares que en su ambiente natural de distribución.

2.5.4. Viabilidad de semillas

Diferencias significativas ($P \leq 0.05$) se encontraron en la viabilidad de los embriones entre árboles. La viabilidad promedio fue 57 %. El porcentaje mayor de viabilidad se encontró en los embriones del Árbol 1, mientras que el porcentaje menor se encontró en los embriones del Árbol 6 (Figura 2).

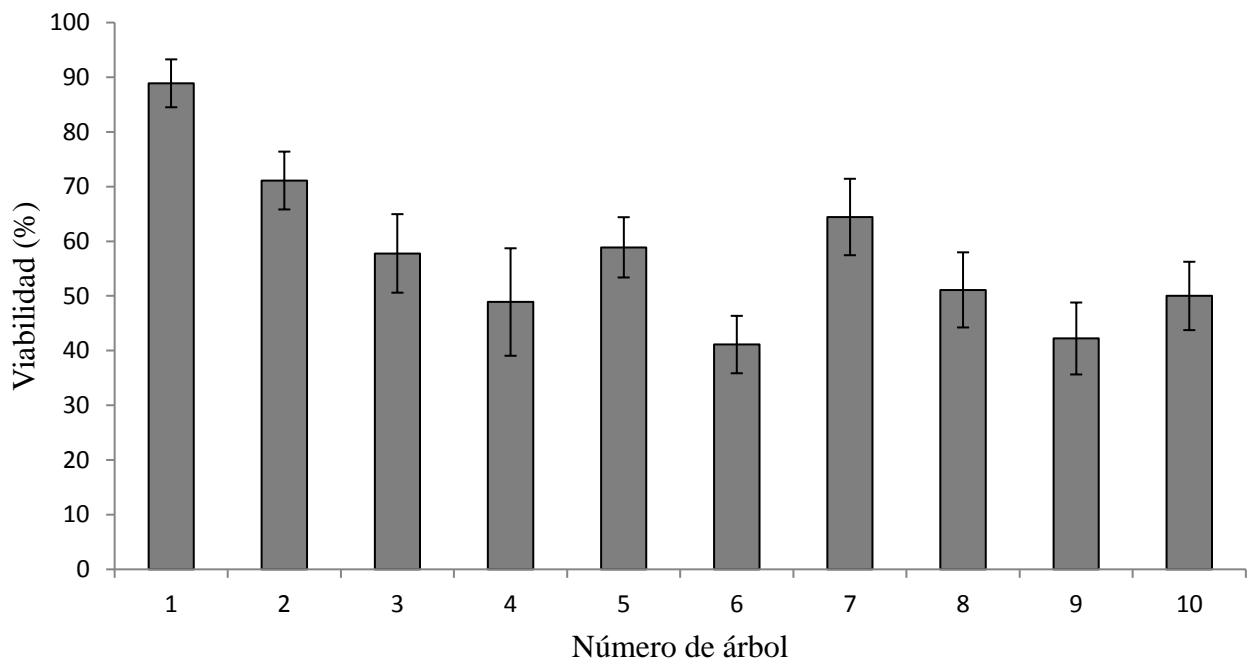


Figura 2. Valores promedio \pm error estándar de la viabilidad de las semillas 10 árboles de *B. linanoe*.

Información es escasa sobre viabilidad de embriones de *B. linanoe*. Sin embargo, la viabilidad fue mayor en los embriones de semilla de esta especie que la viabilidad (15 %) de los embriones de semillas de *B. bippinata* que estuvo almacenada a 25 °C por 12 meses (Orantes-García *et al.*, 2013). Las condiciones ambientales de almacenamiento y factores genéticos pueden acelerar la pérdida de

viabilidad de las semillas (Correa *et al.*, 2013). La diferencia fue alta entre los porcentajes de emergencia y los porcentajes de viabilidad de los embriones de las semillas de *B. linanoe*, aun cuando la prueba de viabilidad se realizó 8 meses después de que se estableció el ensayo de emergencia. Por lo tanto, las semillas de *B. linanoe* pueden tener latencia morfológica y fisiológica, además de la latencia física. Por ejemplo, la diferencia fue 82 % entre la viabilidad de los embriones y la emergencia de la semilla del Árbol 1. Esto podría significar que las semillas de este árbol tuvieron un porcentaje alto de latencia morfológica o fisiológica.

2.6. CONCLUSIONES

Las semillas de *B. linanoe* recién recolectadas y escarificadas presentaron la capacidad germinativa mayor. Los valores de capacidad germinativa y velocidad de germinación fueron muy bajos para las semillas escarificadas, no escarificadas y almacenadas a -10, 4 y 25 °C por cuatro y ocho meses. Una variación alta se encontró en la capacidad de emergencia de las plántulas entre árboles de *B. linanoe*. La germinación y emergencia de las semillas de esta especie fueron lentas.

2.7. BIBLIOGRAFÍA

- Alatorre-Cobos J. y D. A. Rodríguez-Trejo (2009)** Concentración de carbohidratos y peso fresco durante la germinación de *Chamaedora elegans* Mart. y factores que le afectan. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15: 73-79.
- Andrés Hernández A. R. y D. Espinosa Organista (2002)** Morfología de plántulas de *Bursera* Jacq. ex L. (Burseraceae) y sus implicaciones filogenéticas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 70: 5-12.
- Baskin C. C. and J. M. Baskin (2001)** Seeds. Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. Academy Press. San Diego, CA., USA. 666 p.

- Bonfil-Sanders C., I. Cajero-Lázaro y R. Y. Evans (2008)** Germinación de semillas de seis especies de *Bursera* del centro de México. *Agrociencia* 42: 827-834.
- Castillo Márquez L. E. (2007)** Introducción al SAS para Windows. 3ra edición. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 295 p.
- Castellanos-Bolaños J. F., M. Gómez-Cárdenas, E. Cruz-Cruz, V. Serrano-Altamirano, F. Solares-Arenas, D. Vargas-Álvarez, S. Orozco-Sirilo, V. Mariles-Flores, M. E. Fuentes-López, A. Borja de la Rosa y D. Ayerde-Lozada (2009)** Caracterización silvícola de poblaciones naturales de linaloe en Guerrero, Oaxaca y Puebla. *In: Fundamentos Técnicos para el Manejo de Poblaciones Naturales de Linaloe (Bursera linanoe (La llave) Rzedowski, Calderón & Medina) en México.* E. Cruz-Cruz, V. Mariles-Flores, M. Gómez-Cárdenas y D. Vargas Álvarez (Comp.). INIFAP- Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxaca. México. Libro técnico 14: 85-104.
- Chacón P. and R. O. Bustamante (2001)** The effects of seed size and pericarp on seedling recruitment and biomass in *Cryptocarya alba* (Lauraceae) under two contrasting moisture regimes. *Plant Ecology* 152:137-144.
- Correa E., M. Espitia, H. Aramendiz, O. Murillo e I. Pastrana (2013)** Variabilidad genética en semillas de árboles individuales de *Tectona grandis* L. F. en la conformación de lotes mezclados en Córdoba, Colombia. *Rev. U. D. C. A. Actualidad & Divulgación Científica* 16: 379-389.
- Cruz-Cruz E., V. Mariles-Flores, M. Gómez-Cárdenas y D. Vargas-Álvarez (2009)** Fundamentos Técnicos para el Manejo de Poblaciones Naturales de Linaloe (*Bursera linanoe* (La llave) Rzedowski, Calderón & Medina) en México. INIFAP-Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxaca. México. Libro Técnico No. 14. 289 p.

- Dunphy B. K. and J. L. Hamrick (2007)** Estimation of gene flow into fragmented populations of *Bursera simaruba* (Burseraceae) in the dry-forest life zone of Puerto Rico. *American Journal of Botany* 94: 1786-1794.
- Durán Guerra O., A. Quintanar Isaías, J. Villanueva Díaz, A. T. Jaramillo-Pérez y J. Cerano Paredes (2014)** Características anatómicas de la madera de *Bursera lancifolia* (Schltdl.) Engl. con potencial dendrocronológico. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5: 76-87.
- Farfán Vázquez E. de G., J. Jasso Mata, J. López Upton, J. J. Vargas Hernández y C. Ramírez Herrera (2002)** Parámetros genéticos y eficiencia de la selección temprana en *Pinus ayacahuite* Ehren. Var ayacahuite. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25: 239-246.
- Fenner M. and K. Thompson (2005)** The Ecology of Seeds. Cambridge University Press, Cambridge. 250 p.
- García Pérez J. F., Ó. Aguirre Calderón, E. Estrada Castellón, J. Flores Rivas, J. Jiménez Pérez y E. Jurado Ybarra (2007)** Germinación y establecimiento de plantas nativas del matorral tamaulipeco y una especie introducida en un gradiente de elevación. *Madera y Bosques* 13: 99-117.
- Godínez-Álvarez H. y A. Flores-Martínez (1999)** Germinación de semillas de 32 especies de plantas de la costa de Guerrero: su utilidad para la restauración ecológica. *Polibotánica* 11:1-19.
- Gómez Jiménez D. M., C. Ramírez Herrera, J. Jasso Mata y J. López Upton (2010)** Variación en características reproductivas y germinación de semillas de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl & Cham. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33: 297-304.
- González J. E. (1991)** Recolección y germinación de semillas de 26 especies arbóreas del bosque húmedo tropical. *Revista de Biología Tropical* 39: 47-51.

- Hernández Vásquez R., E. Cruz Cruz, G. O. Díaz Zorrilla, M. I. Pérez León, S. Lozano Trejo y V. A. Velasco Velasco (2013)** Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio en estacas de linaloe (*Bursera linanoe*) Andresen. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6: 1119-1128.
- Morgan M. and S. Jose (2013)** Increasing seed germination of *Bursera graveolens*, a promising tree for the restoration of tropical dry forests. *Tree Planters' Notes* 56:74-83.
- Orantes-García C., M. A. Pérez-Farrera, T. M. Rioja-Paradela y E. R. Garrido-Ramírez (2013)** Viabilidad y germinación de semillas de tres especies nativas de la selva tropical, Chiapas, México. *Polibotánica* 36: 117-127.
- Ortiz-Pulido R. and V. Rico-Gray (2006)** Seed dispersal of *Bursera fagaroides* (Burseraceae) the effect of linking environmental factors. *The Southwestern Naturalist* 51: 11-21
- Ramos-Ordoñez M. F., M. A. del Coro Arizmendi and J. Marquez-Guzmán (2012)** The fruit of *Bursera*: structure, maturation and parthenocarpy. *AoB PLANTS* 27: 1-16.
- Rodríguez Trejo D. A. (2008)** Indicadores de Calidad de Planta Forestal. Mundi-Prensa. México, Texcoco. 156 p.
- Ruano Martínez J. R. (2008)** Viveros Forestales. 2ª edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. 285 p.
- Rzedowski J., R. Medina Lemos y G. Calderón de Rzedowski (2005)** Inventario del conocimiento taxonómico, así como de la biodiversidad y del endemismo regionales de las especies mexicanas de *Bursera* (Burseraceae). *Acta Botánica Mexicana* 70: 85-111.
- Sánchez J. A., B. C. Muñoz, L. A. Montejo, J. A. Fresneda y J. Reino (2004)** Estudio ecofisiológico de semillas de interés agroforestal. *Biotecnología Aplicada* 21:172-174.
- SAS Institute (2002)** SAS version 9.0 for windows. SAS Institute, Inc. Cary, NC USA.
- Torres J., R. Castro y D. Grande (2008)** Cercas de uso pecuario en la cuenca del río La Antigua, México: Inventario florístico y costo de construcción. *Zootecnia Tropical*. 26: 279-283.

Vieira D. L. M. and A. Scariot (2006) Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration. *Restoration Ecology* 14: 11-20.

CAPÍTULO III.

CRECIMIENTO Y VARIACIÓN MORFOLÓGICA DE PLANTAS DE *Bursera linanoe*

3.1. RESUMEN

Bursera linanoe (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina es una especie importante por su aceite esencial de los frutos y por su madera para hacer artesanías. La regeneración natural de la especie de *B. linanoe* es escasa. Los objetivos fueron: determinar la variación morfológica de plantas de *B. linanoe* en dos tipos de envase y cuantificar el crecimiento de plantas de *B. linanoe* en dos tipos de envase con dos tipos de sustratos. Semillas de 20 árboles de *B. linanoe* se sembró para producir la planta. Las plantas se colocaron en dos tipos envase. La parte interior de uno de los tipos de bolsa se cubrió con una película fina de cobre mientras que la parte interior del otro tipo de envase estuvo libre de cobre. Ambos tipos de bolsas se llenaron con un la mezcla de: aserrín (60 %) y corteza de pino (40 %). En un segundo experimento, plantas de *B. linanoe* se plantaron en ambos tipos de bolsas descritas línea arriba. La mitad de ambos tipos de bolsas se llenaron con una mezcla de sustrato que se elaboró con aserrín (60 %), corteza de pino (40 %), mientras que la otra mitad de las bolsas se llenó con una mezcla de sustrato de corteza de pino composteada (50 %), turba (26 %), vermiculita (13 %) y agrolita (11 %). Las variables morfológicas e índices registrados fueron ligeramente mayores en las bolsas con cubierta de cobre. Los árboles 5 y 6 fueron los que mostraron los mejores valores de crecimiento. Los árboles 1 y 4 fueron los que presentaron los valores más bajos de crecimiento. El sustrato a base de turba-vermiculita-agrolita- corteza de pino composteada fue el mejor en todas las características morfológicas en las plantas de *B. linanoe*.

Palabras clave: *Bursera linanoe*, características morfológicas, cubierta de cobre, sustrato.

3.2. SUMMARY

Bursera linanoe (The Key) Rzedowski, Calderón & Medina is an important species for its essential oil of fruits and for its wood to make handicrafts. The natural regeneration of *B. linanoe* species is scarce. The objectives were to determine the morphological variation of *B. linanoe* plants in two types of containers and to quantify the growth of *B. linanoe* plants in two types of containers with two types of substrates. Seeds of 20 trees of *B. linanoe* were planted to produce the plant. The plants were placed in two container types. The inner part of one of the bag types was covered with a thin film of copper while the inner part of the other type of packaging was copper free. Both types of bags were filled with a mixture of: sawdust (60%) and pine bark (40%). In a second experiment, *B. linanoe* plants were planted in both types of bags described above. Half of both types of bags were filled with a substrate blend that was made from sawdust (60%), pine bark (40%), while the other half of the bags were filled with a mixture of bark substrate Composted pine (50%), peat (26%), vermiculite (13%) and agrolite (11%). The morphological variables and indexes registered were slightly higher in the bags with copper cover. Trees 5 and 6 showed the best growth values. Trees 1 and 4 were the ones with the lowest growth rates. The substrate based on peat-vermiculite-agrolite- composted pine bark was the best in all morphological characteristics in *B. linanoe* plants.

Index words: *Bursera linanoe*, morphological characteristics, chemical pruning, substratum.

3.3. INTRODUCCIÓN

El Linaloe (*Bursera linanoe* (La Llave) Rzed., Calderón & Medina) es una especie que crece en el bosque tropical caducifolio en los estados de Guerrero, Morelos, Oaxaca y Puebla (Rzedowski *et al.*, 2004; Rzedowski *et al.*, 2005). Los frutos de esta especie contienen un aceite de aroma lima-limón que se utiliza para la elaboración de velas, perfumes y repelente (Solares-Arenas *et al.*, 2009). La madera se usa para postes, cercas vivas y elaboración de artesanía tales como cajas y baúles (Orozco-Cirilo, *et al.*, 2009; Torres *et al.*, 2008).

Las plántulas de *B. linanoe* tienen tallos leñosos y raíz axonomorfa, las cuales forman tubérculos (Andrés y Espinosa, 2002). Las plántulas de Linaloe son tolerantes a la sombra, si éstas se colocan a los rayos directos del sol sus estructuras vegetativas se queman y sus crecimientos disminuye (Cruz-Cruz *et al.*, 2009).

Las actividades antrópicas son una amenaza para la permanencia de las poblaciones naturales de esta especie (Trejo y Hernández, 1996). Por ejemplo, la densidad arbórea de *B. linanoe* disminuyó como consecuencia de la agricultura y ganadería en las áreas de su distribución (Cruz-Cruz *et al.*, 2009). La regeneración natural de esta especie es escasa con una frecuencia mayor de árboles adultos (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2009). Con base en lo anterior, la propagación asistida de *B. linanoe* es importante para la rehabilitación de las poblaciones naturales de esta especie (Duran *et al.*, 2014).

El uso de germoplasma de calidad y la aplicación de prácticas culturales garantizarían la producción de plántulas con características morfológicas y fisiológicas que permitirían a éstas adaptarse al sitio de plantación (Basave *et al.*, 2014; Castro, 2013). Las plantas pueden tener una supervivencia mayor en campo cuando éstas tienen un sistema aéreo y radical balanceado y con características morfológicas deseables (Landis *et al.*, 1990; Rodríguez, 2008). Por ejemplo, el desarrollo radicales es importante para la supervivencia de las plantas en campo (Akpo *et al.*, 2014; Ruano 2008). El tipo de envase y sustrato

influyen en el desarrollo del sistema radical de las plantas (Ruano 2008). Por ejemplo, plantas con un sistema radical robusto se encontraron cuando éstas se produjeron en bolsas de polietileno, sin embargo, la raíz puede crecer en espiral lo que afecta el establecimiento de las plantas en campo (Landis *et al.*, 1990). El espiral de la raíz se puede evitar a través de la poda química la cual aumenta la emisión de un número mayor de raíces laterales (Cabal *et al.*, 2005). Los sustratos elaborados con corteza de pino y aserrín son utilizados con resultados favorables y costos bajos para la producción plantas de calidad (Salto *et al.*, 2013; Aguilera *et al.*, 2015). El régimen hídrico y el régimen eólico son eficientes en sustratos elaborados con corteza, sin embargo, el contenido nutrimental del sustrato es bajo (Grez y Gerding, 1995).

Actualmente, la información sobre tipos de envase y sustratos es escasa para la producción de planta de *B. linanoe*. Por lo cual los objetivos de la presente investigación fueron: 1.- Determinar la variación morfológica de plantas de *Bursera linanoe* en dos tipos de envase, y 2. Cuantificar el crecimiento de plantas de *Bursera linanoe* en dos tipos de envase con dos tipos de sustratos. Las hipótesis fueron las siguientes: 1.-La variación en el crecimiento de las plantas de *Bursera linanoe* será alta debido la variación genética y ambiental en los dos tipos de envase; 2. El crecimiento de las plantas de *Bursera linanoe* será diferenciado por las características del sustrato y tipo de envase.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1. Ensayo de progenies en dos tipos de envases

Las semillas se recolectaron de 20 árboles de *B. linanoe* que crecen en la Sierra de Huautla, Morelos. La siembra se realizó en charolas de plástico en un sustrato a base de turba (peat moss) (60 %), agrolita (30 %) y vermiculita (10 %), en el vivero del INIFAP-CEZACA en Zacatepec, Morelos. Las plantas de cada uno de los 20 árboles se establecieron en un diseño de bloques incompletos al azar con 20 repeticiones y una planta por parcela. Las plantas se plantaron en bolsas con una capa fina de cobre

sobre la pared interior y en bolsas libres de la capa de cobre. El tamaño de las bolsas fue 8 x 30 cm. El sustrato se elaboró con 60 % de aserrín y 40 % de corteza de pino composteada. Un fertilizante (Multicote®) de liberación lenta se agregó al sustrato en una proporción de 8 g l⁻¹. Los valores de las variables se registraron, cuando las plantas tuvieron seis meses de edad. Las variables registradas fueron las siguientes: altura total, diámetro al cuello de la raíz, número de ramas, longitud de raíces, número de raíces, peso de raíces, peso del tallo, peso de ramas, peso de follaje, biomasa total aérea y biomasa total.

3.4.2. Ensayo de plantas en dos tipos de envase con dos tipos de sustrato

Muestras de semillas de *B. linanoe* se germinaron en cajas de plástico (11.5 x 19.5 cm) sobre papel absorbente en el laboratorio del INIFAP-CEZACA en Zacatepec, Estado de Morelos. Las plántulas se trasplantaron en bolsas cubiertas en la parte interna por una película fina de cobre y en bolsas con la parte interna libre de cobre. El tamaño de las bolsas fue 8 x 30 cm. Un sustrato se elaboró con aserrín (60 %) y corteza de pino composteada (40 %). El otro sustrato fue una mezcla, de corteza composteada de pino (50 %), turba (26 %), vermiculita (13 %) y agrolita (11 %). Un fertilizante (Multicote®) de liberación lenta se agregó a cada sustrato en una proporción de 8 g l⁻¹. Las plantas se colocaron en un diseño de bloques al azar con 15 repeticiones y una planta por parcela. Los datos de las variables evaluadas se registraron a los seis meses de edad. Las variables registradas fueron las siguientes: altura total, diámetro al cuello de la raíz, número de ramas, longitud de raíces, número de raíces, peso de raíces, peso del tallo, peso de ramas, peso de follaje, biomasa total aérea y biomasa total. Para ambos experimentos se determinaron los índices de calidad de planta en vivero (Johnson and Cline, 1991; Dickson *et al.*, 1960):

Proporción altura/raíz

$$\text{PAR} = \frac{\text{Peso aéreo (g)}}{\text{Peso radical (g)}}$$

Índice de esbeltez

$$\text{IE} = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}}$$

Índice de calidad de Dickson

$$\text{ICD} = \frac{\text{Peso total (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} + \frac{\text{Peso aéreo (g)}}{\text{Peso radical (g)}}}$$

3.4.3. Análisis estadístico

Ensayo de progenies en dos tipos de envases. Los datos de las variables se analizaron con el procedimiento GLM-SAS para Windows versión 9.0 (SAS Institute, 2002) con modelo siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + T_j + BT_{ij} + A_k + TA_{jk} + BTA_{ijk} + \mathcal{E}_{ijk}$$

Dónde: Y_{ijk} es la observación i -ésimo bloque, en el j -ésimo tratamiento, k -ésimo árbol, μ es la media experimental, B_i efecto del i -ésimo bloque, T_j efecto del j -ésimo tratamiento, A_k efecto del k -ésimo árbol, BT_{ij} efecto de la interacción del bloque en el tratamiento, TA_{jk} efecto de la interacción del tratamiento en el árbol, BTA_{ijk} efecto de la interacción del bloque en el tratamiento y árbol y \mathcal{E}_{ijk} error experimental. Los componentes de varianza se estimaron con el procedimiento VARCOMP-SAS. Con

los componentes de varianza obtenidos se estimó la heredabilidad individual (i) en sentido estricto (Falconer y Mackay (1996):

$$h^2_i = \sigma^2_A / (\sigma^2_f + \sigma^2_{ta} + \sigma^2_{bta} + \sigma^2_e) \text{ y } h^2_f = 1/4 \sigma^2_A / (\sigma^2_f + \sigma^2_{ta/n} + \sigma^2_{bta/n} + \sigma^2_e)$$

Dónde: $\sigma^2_A = 4\sigma^2_f$; σ^2_f = varianza familiar; σ^2_e = varianza del error

Ensayo de plantas en sustratos y envases diferentes. Los datos de las variables se analizaron con el procedimiento GLM-SAS para Windows versión 9.0 (SAS Institute, 2002) con modelo siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + T_j + BT_{ij} + S_k + BS_{ik} + \mathcal{E}_{ijk}$$

Dónde: Y_{ijk} es la observación i -ésimo bloque, en el j -ésimo tratamiento, k -ésimo sustrato, μ es la media experimental, B_i efecto del i -ésimo bloque, T_j efecto del j -ésimo tratamiento, S_k efecto del k -ésimo sustrato, BT_{ij} efecto de la interacción del bloque en el tratamiento, BS_{ik} efecto de la interacción del bloque en el sustrato, y \mathcal{E}_{ijk} error experimental. Los componentes de varianza se estimaron con el procedimiento VARCOMP-SAS.

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1. Ensayo de progenies en dos tipos de envases

Diferencias significativas ($P \leq 0.05$) se encontraron entre tratamientos (bolsas tratadas con cobre contra bolsas no tratadas con cobre) para longitud de raíz. También, diferencias significativas ($P \leq 0.05$) se encontraron entre árboles para altura total, diámetro, número de ramas, longitud de raíces, número de raíces, peso de raíces, peso de tallo, biomasa total aérea, biomasa total e índice de esbeltez.

La varianza del error fue la principal fuente de variación en la mayoría de las variables morfológicas e índices de las plantas de *B. linanoe*. Las demás fuentes de variación contribuyeron a la variación total con porcentajes muy bajos. La fuente de variación del error mostró que existe una gran variación dentro de las parcelas, la cual puede atribuirse a la variabilidad dentro de los árboles evaluados. Juárez-Agis *et al.* (2006), reportan valores similares donde la mayor fuente de variación se registró en el error

experimental en las variables: número de cotiledones, altura del hipocotilo, altura total y supervivencia de las plántulas de *Pseudotsuga menziesii* a los nueve meses de edad. Los valores de heredabilidad individual (h^2_i) y heredabilidad de familias (h^2_f), para las variables morfológicas e índices de las plantas de *B. linanoe* a los seis meses, fueron muy bajos, para todas las variables registradas. Las plantas de *B. linanoe* mostraron una heredabilidad individual y de familias por debajo de 0.2 consideradas como bajas (Molina, 1992). Mesen y Vásquez (2009) encontraron en plantas de *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm., que las diferencias en las características morfológicas de las plantas a temprana edad son manifiestas a etapas adultas (Coutiño-Estrada y Vidal-Martínez, 2006). Las consecuencias de la interacción genotipo-ambiente involucran la diversidad genética como una respuesta adaptativa a diferentes ambientes (Coutiño-Estrada y Vidal-Martínez, 2006). Los valores de heredabilidad obtenidos en todos los caracteres morfológicos e índices en plantas de *B. linanoe* fueron bajos, lo que indica que en la determinación del carácter, el efecto ambiental tiene una contribución importante, por lo que el componente de varianza genética no es la de mayor contribución dentro de la variación fenotípica observada en los caracteres (Pérez *et al.*, 2013).

La altura promedio fue 12.9 cm para las plantas que crecieron en las bolsas libres de cobre. El valor mayor de altura se encontró en las plantas del Árbol 5 en este tipo de bolsas mientras que la altura menor se registró en las plantas del Árbol 4 (Cuadro 2). La altura promedio fue 12.7 cm para las plantas que crecieron en las bolsas con una capa fina de cobre que cubrió la parte interior de la bolsa. La altura mayor se encontró en las plantas del Árbol 6 en este tipo de bolsa, mientras que el valor menor de esta variable se registró en las plantas del Árbol 12 (Cuadro 2). Las alturas promedio fueron muy similares en ambos tipos de bolsas.

Cuadro 2. Valores promedios \pm error estándar de características morfológicas de las plantas de *B. linanoe* de 20 árboles.

| Árbol | AT (cm) | | D (mm) | | NR | |
|-------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | BSC | BCC | BSC | BCC | BSC | BCC |
| 1 | 9.4 \pm 2.4 | 9.1 \pm 2.4 | 6.7 \pm 0.9 | 6.7 \pm 0.7 | 0.7 \pm 0.7 | 1.3 \pm 1.3 |
| 2 | 11.8 \pm 1.2 | 12.1 \pm 0.9 | 6.6 \pm 0.4 | 7.7 \pm 0.3 | 1.9 \pm 0.6 | 2.1 \pm 0.5 |
| 3 | 15.4 \pm 1.7 | 10.4 \pm 1.2 | 8.5 \pm 0.5 | 6.5 \pm 0.5 | 4.4 \pm 1.1 | 1.9 \pm 0.5 |
| 4 | 9.4 \pm 1.8 | 14.4 \pm 2.1 | 5.3 \pm 0.6 | 6.7 \pm 0.5 | 1.1 \pm 0.8 | 3.1 \pm 1.1 |
| 5 | 18.1 \pm 2.4 | 15.7 \pm 4.6 | 8.4 \pm 0.9 | 7.3 \pm 0.8 | 8.1 \pm 1.9 | 5.2 \pm 1.9 |
| 6 | 9.9 \pm 1.2 | 18.7 \pm 3.1 | 6.7 \pm 0.6 | 9.1 \pm 0.7 | 1.5 \pm 0.7 | 5.5 \pm 1.4 |
| 7 | 13.6 \pm 3.6 | 9.0 \pm 1.4 | 7.8 \pm 1.3 | 6.1 \pm 0.6 | 3.7 \pm 1.7 | 1.1 \pm 0.9 |
| 8 | 14.8 \pm 2.7 | 11.8 \pm 1.4 | 7.6 \pm 0.7 | 7.3 \pm 0.4 | 3.1 \pm 1.8 | 1.0 \pm 0.5 |
| 9 | 14.9 \pm 2.7 | 12.4 \pm 3.5 | 8.1 \pm 0.9 | 7.2 \pm 1.1 | 4.8 \pm 1.7 | 3.6 \pm 2.2 |
| 10 | 13.3 \pm 1.9 | 13.7 \pm 1.9 | 7.0 \pm 0.6 | 7.5 \pm 0.6 | 2.9 \pm 0.8 | 3.2 \pm 0.9 |
| 11 | 11.9 \pm 1.8 | 12.2 \pm 1.7 | 8.3 \pm 0.8 | 8.2 \pm 0.6 | 2.9 \pm 1.1 | 3.4 \pm 0.9 |
| 12 | 12.5 \pm 2.4 | 8.4 \pm 1.2 | 6.9 \pm 0.7 | 6.4 \pm 0.5 | 3.8 \pm 1.3 | 0.8 \pm 0.5 |
| 13 | 12.2 \pm 2.5 | 12.2 \pm 2.2 | 7.6 \pm 1.3 | 6.6 \pm 0.7 | 2.7 \pm 2.1 | 1.2 \pm 0.9 |
| 14 | 14.7 \pm 1.5 | 14.3 \pm 3.2 | 8.4 \pm 0.7 | 7.0 \pm 0.9 | 3.7 \pm 0.9 | 4.0 \pm 1.7 |
| 15 | 15.2 \pm 1.9 | 12.2 \pm 1.5 | 7.2 \pm 0.6 | 7.1 \pm 0.5 | 3.8 \pm 0.8 | 1.8 \pm 0.9 |
| 16 | 15.9 \pm 1.4 | 14.3 \pm 1.3 | 8.3 \pm 0.5 | 7.9 \pm 0.4 | 4.7 \pm 0.9 | 3.7 \pm 0.7 |
| 17 | 9.7 \pm 2.9 | 13.7 \pm 2.8 | 6.1 \pm 1.0 | 9.3 \pm 0.7 | 2.2 \pm 2.2 | 7.2 \pm 1.6 |
| 18 | 10.1 \pm 1.5 | 8.8 \pm 1.6 | 6.9 \pm 0.6 | 6.4 \pm 0.6 | 2.1 \pm 0.8 | 1.2 \pm 0.8 |
| 19 | 13.2 \pm 3.9 | 15.3 \pm 2.4 | 6.8 \pm 1.5 | 8.5 \pm 0.8 | 4.6 \pm 2.2 | 3.6 \pm 1.2 |

| | | | | | | |
|----|----------|----------|---------|---------|---------|---------|
| 20 | 12.8±1.2 | 14.3±1.3 | 6.8±0.4 | 7.1±0.3 | 3.2±0.8 | 3.5±0.7 |
|----|----------|----------|---------|---------|---------|---------|

ALT= altura; D=diámetro; NR=número de ramas; BSC=bolsa sin cobre; BCC= bolsa con cobre

El diámetro promedio fue 7.3 mm para las plantas que crecieron en los bolsas libres de cobre. El valor mayor de diámetro se encontró en las plantas del Árbol 3 en este tipo de bolsas, mientras que el diámetro menor se registró en las plantas del Árbol 4 (Cuadro 2). El diámetro promedio fue 7.3 mm para las plantas que crecieron en las bolsas con una capa fina de cobre que cubrió la parte interior de la bolsa. El diámetro mayor se encontró en las plantas del Árbol 17 en este tipo de bolsas, mientras que el valor menor de esta variable se registró en las plantas del Árbol 7 (Cuadro 2). Los diámetros promedio fueron muy similares en ambos tipos de bolsas.

El número de ramas promedio fue 3.3 para las plantas que crecieron en las bolsas libres de cobre. El valor mayor del número de ramas se encontró en las plantas del Árbol 5 en este tipo de bolsas mientras que el número de ramas menor se registró en las plantas del Árbol 1 (Cuadro 2). El número de ramas promedio fue 2.9 para las plantas que crecieron en las bolsas con una capa fina de cobre que cubrió la parte interior de la bolsa. El número de ramas mayor se encontró en las plantas del Árbol 17, mientras que el valor menor de esta variable se registró en las plantas del Árbol 12 (Cuadro 2). El número de ramas fue mayor en la bolsa sin cubierta de cobre.

La longitud de raíces promedio fue 31.5 cm para las plantas que crecieron en los bolsas libres de cobre. El valor mayor de la longitud de raíces se encontró en las plantas del Árbol 5 en este tipo de bolsas mientras que el número de raíces menor se registró en las plantas del Árbol 4 (Cuadro 3). La longitud de raíces promedio fue 29.2 cm para las plantas que crecieron en las bolsas con una capa fina de cobre que cubrió la parte interior de la bolsa. La longitud de raíces mayor se encontró en las plantas

del árbol 13, mientras que el valor mínimo de esta variable se registró en las plantas del Árbol 3 (Cuadro 3). La longitud de raíces promedio fue ligeramente mayor en bolsas sin cobre.

Cuadro 3. Valores promedio \pm error estándar de características de las raíces de las plantas de *B. linanoe*.

| Árbol | LRA (cm) | | NRA | |
|-------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| | BSC | BCC | BSC | BCC |
| 1 | 27.7 \pm 4.6 | 26.2 \pm 4.2 | 2.2 \pm 0.5 | 2.2 \pm 0.3 |
| 2 | 32.4 \pm 1.9 | 31.0 \pm 1.2 | 2.5 \pm 0.3 | 2.2 \pm 0.2 |
| 3 | 31.6 \pm 1.5 | 24.5 \pm 1.9 | 2.5 \pm 0.3 | 1.8 \pm 0.3 |
| 4 | 27.0 \pm 2.8 | 25.5 \pm 1.8 | 1.6 \pm 0.3 | 2.0 \pm 0.3 |
| 5 | 40.1 \pm 4.7 | 30.2 \pm 1.9 | 3.1 \pm 0.5 | 1.5 \pm 0.2 |
| 6 | 31.1 \pm 2.9 | 33.4 \pm 2.8 | 1.5 \pm 0.2 | 3.6 \pm 0.6 |
| 7 | 29.3 \pm 4.3 | 28.4 \pm 1.9 | 2.5 \pm 0.6 | 1.4 \pm 0.2 |
| 8 | 31.0 \pm 3.5 | 31.3 \pm 2.9 | 2.8 \pm 0.9 | 2.0 \pm 0.4 |
| 9 | 34.5 \pm 1.6 | 30.2 \pm 1.4 | 2.0 \pm 0.4 | 2.6 \pm 0.9 |
| 10 | 27.7 \pm 1.9 | 27.7 \pm 2.4 | 1.9 \pm 0.2 | 2.6 \pm 0.5 |
| 11 | 29.7 \pm 2.1 | 28.9 \pm 2.1 | 2.9 \pm 0.6 | 2.5 \pm 0.3 |
| 12 | 30.6 \pm 2.3 | 29.2 \pm 1.5 | 1.8 \pm 0.2 | 1.5 \pm 0.2 |
| 13 | 33.3 \pm 1.5 | 33.7 \pm 4.1 | 2.0 \pm 0.3 | 2.2 \pm 0.4 |
| 14 | 34.0 \pm 2.7 | 27.6 \pm 3.9 | 2.0 \pm 0.3 | 2.1 \pm 0.4 |
| 15 | 32.1 \pm 1.9 | 27.5 \pm 1.1 | 2.5 \pm 0.3 | 2.1 \pm 0.3 |
| 16 | 31.3 \pm 1.7 | 28.2 \pm 1.2 | 2.1 \pm 0.2 | 2.3 \pm 0.2 |

| | | | | |
|----|------------|------------|-----------|-----------|
| 17 | 29.1 ± 3.6 | 32.9 ± 2.2 | 1.8 ± 0.5 | 3.2 ± 0.6 |
| 18 | 30.2 ± 3.5 | 23.8 ± 2.8 | 1.8 ± 0.3 | 1.8 ± 0.3 |
| 19 | 34.7 ± 6.9 | 31.5 ± 1.8 | 3.0 ± 1.1 | 3.0 ± 0.7 |
| 20 | 31.7 ± 1.5 | 32.1 ± 1.5 | 2.4 ± 0.2 | 2.5 ± 0.2 |

LRA=longitud de raíces; NRA=número de raíces; BSC=bolsa sin cobre; BCC=bolsa con cobre

El número de raíces promedio fue 2.2 para las plantas que crecieron en las bolsas libres de cobre. El valor mayor del número de raíces se encontró en las plantas del Árbol 5 en este tipo de bolsas, mientras que el número de raíces menor se registró en las plantas del Árbol 6 (Cuadro 3). El número de raíces promedio fue 2.3 para las plantas que crecieron en las bolsas con una capa fina de cobre que cubrió la parte interior de la bolsa. El número de raíces mayor se encontró en las plantas del Árbol 6, mientras que el valor menor de esta variable se registró en las plantas del Árbol 7 (Cuadro 3). El número de raíces en ambos tipos de bolsas fue muy similar.

El peso seco de raíces promedio fue 0.99 gr para las plantas que crecieron en las bolsas libres de cobre. El valor mayor del peso seco de raíces se encontró en las plantas del Árbol 15 en este tipo de bolsas, mientras que el peso seco de raíces menor se registró en las plantas del Árbol 4 (Cuadro 4). El peso seco de raíces promedio fue 1.02 gr para las plantas que crecieron en las bolsas con una capa fina de cobre que cubrió la parte interior de la bolsa. El peso seco de raíces mayor se encontró en las plantas del Árbol 6, mientras que el valor menor de esta variable se registró en las plantas del Árbol 1 (Cuadro 4). El peso seco de raíces fue ligeramente mayor en las bolsas con cubierta de cobre.

Cuadro 4. Valores promedio \pm error del peso seco aéreo y radical de plantas de *B.**linanoe*

| Árbol | PRA (gr) | | PT (gr) | | PR (gr) | | PF (gr) | |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|
| | BSC | BCC | BSC | BCC | BSC | BCC | BSC | BCC |
| 1 | 0.6 \pm 0.2 | 0.5 \pm 0.2 | 1.4 \pm 0.5 | 1.2 \pm 0.3 | 0.02 \pm 0.02 | 0.06 \pm 0.06 | 0.5 \pm 0.2 | 0.3 \pm 0.1 |
| 2 | 0.9 \pm 0.2 | 1.2 \pm 0.1 | 1.9 \pm 0.3 | 2.2 \pm 0.2 | 0.09 \pm 0.05 | 0.09 \pm 0.03 | 0.5 \pm 0.1 | 0.5 \pm 0.1 |
| 3 | 1.3 \pm 0.2 | 0.8 \pm 0.1 | 2.6 \pm 0.4 | 1.6 \pm 0.3 | 0.24 \pm 0.08 | 0.05 \pm 0.02 | 0.6 \pm 0.1 | 0.3 \pm 0.1 |
| 4 | 0.4 \pm 0.1 | 0.8 \pm 0.2 | 1.1 \pm 0.3 | 1.7 \pm 0.3 | 0.05 \pm 0.04 | 0.11 \pm 0.06 | 0.3 \pm 0.1 | 0.5 \pm 0.1 |
| 5 | 1.2 \pm 0.2 | 0.9 \pm 0.3 | 2.2 \pm 0.4 | 1.8 \pm 0.6 | 0.34 \pm 0.17 | 0.15 \pm 0.07 | 0.7 \pm 0.2 | 0.5 \pm 0.2 |
| 6 | 0.7 \pm 0.1 | 1.6 \pm 0.4 | 1.5 \pm 0.3 | 3.2 \pm 0.6 | 0.06 \pm 0.05 | 0.48 \pm 0.19 | 0.4 \pm 0.1 | 0.8 \pm 0.2 |
| 7 | 1.1 \pm 0.4 | 0.6 \pm 0.2 | 1.8 \pm 0.6 | 1.2 \pm 0.3 | 0.21 \pm 0.11 | 0.02 \pm 0.02 | 0.6 \pm 0.2 | 0.4 \pm 0.2 |
| 8 | 0.9 \pm 0.3 | 0.9 \pm 0.1 | 2.4 \pm 0.4 | 1.7 \pm 0.3 | 0.22 \pm 0.11 | 0.04 \pm 0.03 | 0.5 \pm 0.1 | 0.5 \pm 0.1 |
| 9 | 1.2 \pm 0.3 | 0.9 \pm 0.3 | 2.4 \pm 0.5 | 1.9 \pm 0.6 | 0.13 \pm 0.07 | 0.14 \pm 0.09 | 0.8 \pm 0.3 | 0.5 \pm 0.2 |
| 10 | 0.9 \pm 0.2 | 1.1 \pm 0.2 | 1.9 \pm 0.4 | 2.3 \pm 0.4 | 0.12 \pm 0.04 | 0.22 \pm 0.10 | 0.4 \pm 0.1 | 0.5 \pm 0.1 |
| 11 | 1.1 \pm 0.2 | 1.3 \pm 0.2 | 2.1 \pm 0.4 | 2.2 \pm 0.3 | 0.14 \pm 0.06 | 0.14 \pm 0.05 | 0.5 \pm 0.1 | 0.5 \pm 0.1 |
| 12 | 1.0 \pm 0.3 | 0.6 \pm 0.1 | 2.0 \pm 0.5 | 1.4 \pm 0.3 | 0.31 \pm 0.13 | 0.02 \pm 0.02 | 0.7 \pm 0.2 | 0.2 \pm 0.1 |
| 13 | 0.8 \pm 0.2 | 0.7 \pm 0.2 | 1.8 \pm 0.5 | 1.4 \pm 0.3 | 0.07 \pm 0.07 | 0.01 \pm 0.01 | 0.4 \pm 0.1 | 0.4 \pm 0.1 |
| 14 | 1.4 \pm 0.2 | 1.5 \pm 0.5 | 2.3 \pm 0.3 | 2.1 \pm 0.6 | 0.13 \pm 0.05 | 0.28 \pm 0.14 | 0.6 \pm 0.1 | 0.7 \pm 0.2 |
| 15 | 1.4 \pm 0.3 | 1.0 \pm 0.2 | 2.5 \pm 0.4 | 1.9 \pm 0.3 | 0.22 \pm 0.07 | 0.13 \pm 0.07 | 0.6 \pm 0.1 | 0.5 \pm 0.1 |
| 16 | 1.4 \pm 0.2 | 1.3 \pm 0.1 | 2.8 \pm 0.3 | 2.5 \pm 0.3 | 0.31 \pm 0.09 | 0.21 \pm 0.06 | 0.6 \pm 0.1 | 0.5 \pm 0.1 |
| 17 | 0.6 \pm 0.2 | 1.5 \pm 0.3 | 1.2 \pm 0.3 | 2.5 \pm 0.5 | 0.06 \pm 0.06 | 0.19 \pm 0.10 | 0.3 \pm 0.2 | 0.8 \pm 0.2 |
| 18 | 0.8 \pm 0.2 | 0.8 \pm 0.3 | 1.6 \pm 0.3 | 1.3 \pm 0.4 | 0.08 \pm 0.05 | 0.08 \pm 0.06 | 0.4 \pm 0.1 | 0.3 \pm 0.1 |

19 1.2 ± 0.5 1.3 ± 0.3 2.3 ± 1.1 2.4 ± 0.4 0.33 ± 0.18 0.12 ± 0.06 0.6 ± 0.2 0.6 ± 0.1

PRA=peso de raíces; PT=peso del tallo; PR=peso de rama; PF=peso de follaje; BSC=bolsa sin cobre;
BCC=bolsa con cobre

El peso seco de tallo promedio fue 1.99 gr para las plantas que crecieron en las bolsas libres de cobre. El valor mayor del peso seco de tallo se encontró en las plantas del Árbol 16 en este tipo de bolsas, mientras que el peso seco de tallo menor se registró en las plantas del Árbol 4 (Cuadro 4). El peso seco de tallo promedio fue 1.94 gr para las plantas que crecieron en las bolsas con una capa fina de cobre que cubrió la parte interior de la bolsa. El peso seco de tallo mayor se encontró en las plantas del Árbol 6 en este tipo de bolsas, mientras que el valor menor de esta variable se registró en las plantas del Árbol 1 (Cuadro 4). El peso seco de tallo fue muy similar en ambos tipos de bolsa.

El peso seco de rama promedio fue 0.16 gr para las plantas que crecieron en las bolsas libres de cobre. El valor mayor del peso seco de rama se encontró en las plantas del Árbol 5 en este tipo de bolsas, mientras que el peso seco de rama menor se registró en las plantas del Árbol 1 (Cuadro 4). El peso seco de rama promedio fue 0.13 gr para las plantas que crecieron en las bolsas con una capa fina de cobre que cubrió la parte interior de la bolsa. El peso seco de rama mayor se encontró en las plantas del Árbol 6 en este tipo de bolsas, mientras que el valor menor de esta variable se registró en las plantas del Árbol 13 (Cuadro 4). El peso seco de rama fue similar en ambos tipos de bolsa.

El peso seco de follaje promedio fue 0.52 gr para las plantas que crecieron en las bolsas libres de cobre. El valor mayor del peso seco de follaje se encontró en las plantas del Árbol 9 en este tipo de bolsas, mientras que el peso seco de follaje menor se registró en las plantas del Árbol 17 (Cuadro 4). El peso seco de follaje promedio fue 0.48 gr para las plantas que crecieron en las bolsas con una capa fina de cobre que cubrió la parte interior de la bolsa. El peso seco de follaje mayor se encontró en las

plantas del Árbol 6, mientras que el valor mínimo de esta variable se registró en las plantas del Árbol 12 (Cuadro 4). El peso seco de follaje fue muy similar en ambos tipos de bolsa.

La biomasa total aérea promedio fue 2.7 gr para las plantas que crecieron en las bolsas libres de cobre. El valor mayor de la biomasa total aérea se encontró en las plantas del Árbol 16 en este tipo de bolsas mientras que la biomasa total aérea menor se registró en las plantas del Árbol 4 (Cuadro 5). La biomasa total aérea promedio fue 2.6 gr para las plantas que crecieron en las bolsas con una capa fina de cobre que cubrió la parte interior de la bolsa. La biomasa total aérea mayor se encontró en las plantas del Árbol 6 en este tipo de bolsa, mientras que el valor menor de esta variable se registró en las plantas del Árbol 12 (Cuadro 5). La biomasa total aérea fue muy similar en ambos tipos de bolsa.

La biomasa total promedio fue 3.7 gr para las plantas que crecieron en las bolsas libres de cobre. El valor mayor de la biomasa total se encontró en las plantas del Árbol 3 en este tipo de bolsas, mientras que la biomasa total aérea menor se registró en las plantas del Árbol 4 (Cuadro 5). La biomasa total promedio fue 3.6 gr para las plantas que crecieron en las bolsas con una capa fina de cobre que cubrió la parte interior de la bolsa. La biomasa total mayor se encontró en las plantas del Árbol 6 en este tipo de bolsa, mientras que el valor menor de esta variable se registró en las plantas del Árbol 1 (Cuadro 5). La biomasa total fue similar en ambos tipos de bolsa.

Cuadro 5. Valores promedio \pm error de la biomasa aérea y total de plantas de *B. linanoe* de 20 árboles.

| Árboles | BTA (gr) | | BTOT (gr) | |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | BSC | BCC | BSC | BCC |
| 1 | 1.96 \pm 0.53 | 1.59 \pm 0.49 | 2.50 \pm 0.72 | 2.08 \pm 0.64 |
| 2 | 2.51 \pm 0.37 | 2.76 \pm 0.28 | 3.51 \pm 0.51 | 3.95 \pm 0.39 |
| 3 | 3.45 \pm 0.54 | 1.93 \pm 0.32 | 4.79 \pm 0.74 | 2.75 \pm 0.45 |

| | | | | |
|----|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 4 | 1.36 ± 0.44 | 2.31 ± 0.46 | 1.80 ± 0.58 | 3.16 ± 0.67 |
| 5 | 3.28 ± 0.72 | 2.44 ± 0.77 | 4.50 ± 0.91 | 3.41 ± 1.06 |
| 6 | 1.87 ± 0.36 | 4.54 ± 0.96 | 2.55 ± 0.50 | 6.18 ± 1.31 |
| 7 | 2.68 ± 0.89 | 1.58 ± 0.42 | 3.77 ± 1.31 | 2.14 ± 0.58 |
| 8 | 3.07 ± 0.64 | 2.21 ± 0.28 | 3.92 ± 0.84 | 3.09 ± 0.40 |
| 9 | 3.31 ± 0.86 | 2.47 ± 0.82 | 4.52 ± 1.10 | 3.38 ± 1.13 |
| 10 | 2.53 ± 0.48 | 3.01 ± 0.61 | 3.43 ± 0.66 | 4.09 ± 0.82 |
| 11 | 2.71 ± 0.51 | 2.80 ± 0.45 | 3.85 ± 0.71 | 4.05 ± 0.64 |
| 12 | 3.01 ± 0.73 | 1.58 ± 0.30 | 4.03 ± 0.98 | 2.17 ± 0.43 |
| 13 | 2.23 ± 0.58 | 1.78 ± 0.34 | 2.98 ± 0.75 | 2.53 ± 0.52 |
| 14 | 2.97 ± 0.45 | 3.11 ± 0.99 | 4.33 ± 0.67 | 4.57 ± 1.46 |
| 15 | 3.29 ± 0.58 | 2.56 ± 0.48 | 4.66 ± 0.83 | 3.58 ± 0.66 |
| 16 | 3.68 ± 0.48 | 3.15 ± 0.38 | 5.12 ± 0.67 | 4.41 ± 0.52 |
| 17 | 1.54 ± 0.53 | 3.43 ± 0.79 | 2.13 ± 0.75 | 4.91 ± 1.09 |
| 18 | 1.98 ± 0.40 | 1.75 ± 0.52 | 2.77 ± 0.54 | 2.54 ± 0.78 |
| 19 | 3.20 ± 1.46 | 3.10 ± 0.58 | 4.36 ± 1.95 | 4.42 ± 0.85 |
| 20 | 2.77 ± 0.39 | 2.99 ± 0.34 | 3.74 ± 0.53 | 4.04 ± 0.46 |

BTA=biomasa total aérea; BTOT=biomasa total; BSC=bolsa sin cobre; BCC=bolsa con cobre

La proporción altura/raíz promedio fue 3.53 para las plantas que crecieron en los bolsas libres de cobre. El valor mayor de proporción altura/raíz se encontró en las plantas del Árbol 8 en este tipo de bolsas mientras que la proporción altura/raíz menor se registró en las plantas del Árbol 14 (Cuadro 6).

La proporción altura/raíz promedio fue 2.90 para las plantas que crecieron en las bolsas con una capa

fina de cobre que cubrió la parte interior de la bolsa. La proporción altura/raíz mayor se encontró en las plantas del Árbol 18 en este tipo de bolsa, mientras que el valor menor de esta variable se registró en las plantas del Árbol 14 (Cuadro 6). La proporción altura/raíz fue mayor en las bolsas sin cubierta de cobre.

Cuadro 6. Valores promedio \pm error de los índices de calidad de plantas de *B. linanoe* de 20 árboles.

| Árbol | Proporción altura/raíz | | Índice de esbeltez | | Índice de calidad de Dickson | |
|-------|------------------------|-----------------|--------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|
| | BSC | BCC | BSC | BCC | BSC | BCC |
| 1 | 5.97 \pm 2.74 | 3.43 \pm 0.26 | 1.33 \pm 0.27 | 1.30 \pm 0.29 | 0.49 \pm 0.17 | 0.42 \pm 0.11 |
| 2 | 5.04 \pm 1.89 | 2.38 \pm 0.79 | 1.69 \pm 0.07 | 1.52 \pm 0.09 | 0.79 \pm 0.10 | 0.98 \pm 0.08 |
| 3 | 2.72 \pm 0.16 | 2.95 \pm 0.27 | 1.72 \pm 0.10 | 1.58 \pm 0.10 | 1.05 \pm 0.13 | 0.68 \pm 0.10 |
| 4 | 3.35 \pm 0.29 | 3.37 \pm 0.35 | 1.67 \pm 0.12 | 2.04 \pm 0.18 | 0.35 \pm 0.09 | 0.60 \pm 0.12 |
| 5 | 2.59 \pm 0.17 | 2.50 \pm 0.30 | 2.13 \pm 0.13 | 1.99 \pm 0.50 | 0.93 \pm 0.14 | 0.68 \pm 0.17 |
| 6 | 2.90 \pm 0.17 | 2.90 \pm 0.13 | 1.52 \pm 0.11 | 1.93 \pm 0.25 | 0.59 \pm 0.11 | 1.21 \pm 0.23 |
| 7 | 3.28 \pm 0.42 | 3.10 \pm 0.36 | 1.65 \pm 0.26 | 1.51 \pm 0.17 | 0.82 \pm 0.30 | 0.48 \pm 0.12 |
| 8 | 8.18 \pm 5.04 | 2.93 \pm 0.59 | 1.87 \pm 0.19 | 1.59 \pm 0.16 | 0.69 \pm 0.18 | 0.73 \pm 0.08 |
| 9 | 2.70 \pm 0.19 | 2.92 \pm 0.24 | 1.85 \pm 0.27 | 1.65 \pm 0.29 | 0.98 \pm 0.19 | 0.74 \pm 0.23 |
| 10 | 5.07 \pm 2.01 | 3.02 \pm 0.26 | 1.79 \pm 0.17 | 1.78 \pm 0.17 | 0.68 \pm 0.11 | 0.85 \pm 0.14 |
| 11 | 2.47 \pm 0.16 | 2.37 \pm 0.16 | 1.36 \pm 0.13 | 1.42 \pm 0.15 | 0.99 \pm 0.17 | 1.05 \pm 0.15 |
| 12 | 2.94 \pm 0.13 | 2.88 \pm 0.18 | 1.60 \pm 0.19 | 1.26 \pm 0.09 | 0.79 \pm 0.17 | 0.52 \pm 0.10 |
| 13 | 2.97 \pm 0.34 | 2.73 \pm 0.31 | 1.57 \pm 0.15 | 1.81 \pm 0.22 | 0.64 \pm 0.15 | 0.60 \pm 0.15 |
| 14 | 2.46 \pm 0.21 | 2.28 \pm 0.23 | 1.74 \pm 0.10 | 1.85 \pm 0.22 | 1.10 \pm 0.18 | 1.02 \pm 0.27 |
| 15 | 2.95 \pm 0.21 | 3.14 \pm 0.58 | 1.94 \pm 0.13 | 1.67 \pm 0.12 | 0.98 \pm 0.17 | 0.80 \pm 0.13 |

| | | | | | | |
|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 16 | 2.99 ± 0.26 | 2.56 ± 0.11 | 1.80 ± 0.08 | 1.72 ± 0.08 | 1.11 ± 0.13 | 0.99 ± 0.10 |
| 17 | 2.97 ± 0.47 | 2.46 ± 0.29 | 1.48 ± 0.17 | 1.48 ± 0.27 | 0.49 ± 0.15 | 1.30 ± 0.26 |
| 18 | 2.67 ± 0.19 | 4.67 ± 2.01 | 1.40 ± 0.14 | 1.29 ± 0.10 | 0.68 ± 0.11 | 0.64 ± 0.19 |
| 19 | 3.22 ± 0.44 | 2.51 ± 0.17 | 1.78 ± 0.20 | 1.74 ± 0.17 | 0.90 ± 0.38 | 1.03 ± 0.18 |
| 20 | 3.21 ± 0.14 | 2.95 ± 0.08 | 1.79 ± 0.10 | 1.93 ± 0.11 | 0.75 ± 0.09 | 0.80 ± 0.07 |

BSC=bolsa sin cobre; BCC=bolsa con cobre

El índice de esbeltez promedio fue 1.68 para las plantas que crecieron en las bolsas libres de cobre. El valor mayor de proporción del índice de esbeltez se encontró en las plantas del Árbol 5 en este tipo de bolsas, mientras que el índice de esbeltez menor se registró en las plantas del Árbol 1 (Cuadro 6). El índice de esbeltez promedio fue 1.65 para las plantas que crecieron en las bolsas con una capa fina de cobre que cubrió la parte interior de la bolsa. El índice de esbeltez mayor se encontró en las plantas del Árbol 4 de este tipo de bolsa, mientras que el valor menor de esta variable se registró en las plantas del Árbol 12 (Cuadro 6). El índice de esbeltez fue muy similar en ambos tipos de bolsa.

El índice de calidad de Dickson promedio fue 0.79 para las plantas que crecieron en las bolsas libres de cobre. El valor mayor del índice de calidad de Dickson se encontró en las plantas del Árbol 16 en este tipo de bolsas, mientras que el índice de esbeltez menor se registró en las plantas del Árbol 1 (Cuadro 6). El índice de calidad de Dickson promedio fue 0.81 para las plantas que crecieron en las bolsas con una capa fina de cobre que cubrió la parte interior de la bolsa. El índice de calidad de Dickson mayor se encontró en las plantas del Árbol 17 en este tipo de bolsa, mientras que el valor menor de esta variable se registró en las plantas del Árbol 1 (Cuadro 6). El índice de calidad de Dickson fue muy similar en ambos tipos de bolsa.

3.5.2. Ensayo de plantas en dos tipos de envase con dos tipos de sustrato

Diferencias significativas ($P \leq 0.05$) se encontraron entre tratamientos (bolsas tratadas contra bolsas no tratadas) para altura, número de ramas, longitud de raíces y número de raíces. Diferencias significativas ($P \leq 0.05$) se encontraron entre sustratos, para altura, diámetro, número de ramas y raíces, peso seco de ramas, raíces, tallo y follaje, biomasa total aérea, biomasa total, índice de esbeltez e índice de calidad de Dickson. La varianza del tipo de sustrato fue la principal fuente de variación en 10 de las 12 características registradas de las plantas de *B. linanoe*, el tipo de bolsa utilizado no influyó en las características de las plantas; la varianza del error fue mayor en la variable longitud de raíz y proporciona parte aérea/raíz. El tipo de sustrato fue la principal fuente de variación en las características de las plantas de *B. linanoe*, sin embargo en la longitud de raíz y proporción parte aérea/raíz la mayor variación se presentó dentro de la parcela (Juárez-Agis *et al.*, 2006).

La altura promedio fue 11.73 cm para las plantas que crecieron en el sustrato a base de aserrín-corteza. El valor mayor de altura se encontró en las plantas producidas en bolsas sin cobre (Cuadro 7). La altura promedio fue 35.21 cm para las plantas que crecieron en el sustrato a base de corteza, turba, vermiculita y agrolita. La altura mayor se encontró en las plantas producidas en bolsas sin cobre (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores promedio \pm error estándar de características morfológicas de plantas de *B. linanoe* evaluadas en dos tipos de envase y sustrato.

| Tratamiento | | Características | | | | |
|-------------|---|-----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| | | AT (cm) | D (mm) | NR | LRA (cm) | NRA |
| BSC | A | 12.9 \pm 1.8 | 6.5 \pm 0.6 | 2.3 \pm 0.8 | 29.9 \pm 2.1 | 1.9 \pm 0.3 |
| BCC | A | 10.6 \pm 1.7 | 5.8 \pm 0.7 | 1.3 \pm 0.7 | 20.9 \pm 2.1 | 1.6 \pm 0.3 |
| BSC | P | 37.6 \pm 2.1 | 12.5 \pm 0.4 | 13.5 \pm 1.1 | 30.6 \pm 1.3 | 4.3 \pm 0.5 |

| | | | | | | |
|-----|---|------------|------------|------------|------------|-----------|
| BCC | P | 32.9 ± 2.6 | 11.7 ± 0.6 | 10.9 ± 1.1 | 30.6 ± 0.8 | 2.9 ± 0.4 |
|-----|---|------------|------------|------------|------------|-----------|

BSC=bolsa sin cobre; BCC=bolsa con cobre; A=aserrín y corteza; P=corteza, vermiculita, agrolita y peat moss; AT=altura total; D=diámetro; NR=número de ramas; LRA=longitud de raíces; NRA=número de raíces.

La altura promedio fue tres veces mayor con el sustrato corteza-vermiculita-agrolita-peat moss que con aserrín-corteza. La altura promedio con el sustrato de aserrín-corteza fue muy similar a la reportada en el primer ensayo a base de aserrín-corteza. Las diferencias en la altura de las plantas de *B. linanoe* se atribuyen principalmente a las características físicas del sustrato (porosidad, densidad aparente, granulometría y capacidad de retención de humedad). La altura fue ligeramente mejor en bolsas sin cobre. Resultados similares encontraron en plantas de nueve meses de *Pachyra insingis* Swartz y *Andira inermis* Wright DC., la altura no fue afectada por la aplicación de cobre en las bolsas (34.5/48.8) cm vs sin aplicación de cobre en las bolsas (33.4/51.3 cm) respectivamente (Arboleda *et al.*, 2002). Así también, Barajas-Rodríguez *et al.* (2004) en plantas de 10 meses de *Pinus greggii*, la altura no fue afectada por el tratamiento de cobre (24.9 cm) vs sin tratamiento de cobre (24.5 cm). Algo contrario resultó, en plantas de tres meses de *Acacia retinodes* Schltdl., la altura fue favorecida en bolsas tratadas con cobre (59 cm) vs que en bolsas no tratadas con cobre (55 cm) (Mateo *et al.*, 2014). Al igual que en plantas de seis meses de *Pinus greggii* Engelm., la altura fue mayor con poda química (34.6 cm) vs que sin poda química en la procedencia el Madroño (30.4 cm) (Aldrete *et al.*, 2005). Con respecto al tipo de sustrato, Mateo *et al.* (2014) reportaron que la altura de las plantas de tres meses de *Acacia retinodes* fue 50 % (63.4 cm) y 60 % (68.4 cm) más altas en sustratos a base de aserrín-tierra de monte y aserrín-lombricomposta que el testigo a base de tierra de monte y tezontle (42.3 cm). Lo contrario a lo encontrado en el presente estudio en plantas de *B. linanoe* con sustrato a base de aserrín.

También, Mateo-Sánchez *et al.* (2011) en plantas de tres meses y medio de *Cedrela odorata L.*, la altura no mostró diferencias en 10 de las 11 combinaciones a base de aserrín + la mezcla de peat moss-agrolita-vermiculita en proporciones que variaron desde cero % hasta 100 %. Aguilera *et al.* (2015), encontraron en plantas de 10 meses de *Pinus pseudostrobus* Lindl., que la altura fue muy similar al utilizar sustrato a base de aserrín intemperizado (24.3 cm) que sustrato a base de aserrín crudo (25.5 cm).

El diámetro promedio fue 6.13 mm para las plantas que crecieron en el sustrato a base de aserrín-corteza. El valor mayor de diámetro se encontró en las plantas producidas en bolsas sin cobre (Cuadro 7). El diámetro promedio fue 12.09 mm para las plantas que crecieron en el sustrato a base de corteza, turba, vermiculita y agrolita. El diámetro mayor se encontró en las plantas producidas en bolsas sin cobre (Cuadro 7). El diámetro promedio fue dos veces mayor al utilizar el sustrato corteza-vermiculita-agrolita-peat moss. El diámetro promedio con el sustrato de aserrín-corteza fue muy similar a la reportado en el primer ensayo a base de aserrín-corteza. Los diámetros mejores se registraron en las bolsas sin cobre. El tipo de sustrato influyó en un mejor desarrollo en diámetro en la planta de *B. linanoe*. Algo similar reportó Arboleda *et al.* (2002) en plantas de nueve meses de *Andira inermis* donde el diámetro se redujo de (15.2) al utilizar cobertura de cobre en la bolsas (14.4 mm). Por otro lado Mateo *et al.* (2014) reportaron en plantas de *Acacia retinodes* un aumento en el diámetro producidas en bolsas con cobre (5.5 mm) vs bolsas sin cobertura de cobre (4.8 mm). Al igual que en las plantas de *Pinus greggii* donde el diámetro mejoró con bolsas tratadas con cobre (3.1 mm) vs bolsas no tratadas con cobre (3.0 mm) (Aldrete *et al.*, 2005). Resultados similares encontraron Barajas-Rodríguez *et al.*, (2004) en plantas de *Pinus greggii* donde el diámetro fue favorecido en bolsas con cobre (3.9 mm) vs bolsas sin cobre (3.6mm). Referente al estudio de los sustratos, Mateo *et al.* (2014) mencionaron que en plantas de *Acacia retinodes* el diámetro fue 75 % y 85 % más en sustratos a base

de aserrín-tierra de monte (6 mm) y aserrín-lombricomposta (6.3 mm) que el testigo a base de tierra de monte y tezontle (3.4 mm). Mateo-Sánchez *et al.* (2011) registraron en plantas de *Cedrela odorata L.*, el diámetro mejor fue en el sustrato con 70 % de aserrín-30 % de mezcla de peat moss-agrolita-vermiculita (7.98 mm), los diámetros bajos fueron en las mezclas compuestas por 100, 30 y 20 % de aserrín (7.3, 7.2 y 7.1 mm). Aguilera *et al.* (2015), encontraron en plantas de *Pinus pseudostrobus* el diámetro fue muy similar en el sustratos a base de aserrín fresco (5.7 mm) y el sustrato a base de aserrín intemperizado (5.6 mm). Reyes *et al.* (2005) mencionaron en plantas de *Pinus pseudostrobus* que el mayor diámetro fue en el sustrato compuesto por 80% de aserrín-20 % peat moss (3.3 mm) y el menor diámetro se encontró en la mezcla de 80% de aserrín y 20% agrolita (2.9 mm). Maldonado-Benítez *et al.*, 2011, registraron que plantas de *Pinus greggii* el diámetro fue mayor en el sustrato con 80% aserrín + 20% corteza con 4g L⁻¹ hidrogel (3 mm). Los valores menores fueron a base de 40% aserrín + 60% de corteza con 4g L⁻¹ hidrogel (2.7 mm).

El número de ramas promedio fue 1.83 para las plantas que crecieron en el sustrato a base de aserrín-corteza. El valor mayor del número de ramas se encontró en las plantas producidas en bolsas sin cobre (Cuadro 7). El número de ramas promedio fue 12.2 para las plantas que crecieron en el sustrato a base de corteza, turba, vermiculita y agrolita. El número de ramas mayor se encontró en las plantas producidas en bolsas sin cobre (Cuadro 7). El número de ramas fue siete veces mayor en el sustrato de corteza-vermiculita-agrolita-peat moss que en el sustrato a base de aserrín-corteza. El número de ramas no fue afectado por las bolsas con o sin cobre. En los dos ensayos realizados con aserrín-corteza los valores fueron muy similares. Los valores registrados mostraron la influencia del sustrato en la estructura y morfología de la planta para llevar a campo.

La longitud de raíces promedio fue 25.4 para las plantas que crecieron en el sustrato a base de aserrín-corteza. El valor mayor de la longitud de raíces se encontró en las plantas producidas en bolsas

sin cobre (Cuadro 7). La longitud de raíces promedio fue 30.6 para las plantas que crecieron en el sustrato a base de corteza, turba, vermiculita y agrolita. La longitud de raíces mayor se encontró en las plantas producidas en bolsas sin cobre (Cuadro 7). La longitud de raíces fue ligeramente mayor en el sustrato a base de corteza, turba, vermiculita y agrolita. La longitud de las raíces fue menor en las bolsas tratadas con cobre. Algo similar reportó Arboleda *et al.* (2002), en plantas de *Andira inermis* y *Pachyra insignes* donde mencionaron que la longitud de la raíz principal se redujo por efecto de las bolsas con cubierta de cobre un 18 y 26 % respectivamente. Resultados similares encontraron Rodríguez *et al.* (2015), en plantas de *Solanum melongena* L., donde mencionaron que con el tratamiento con cobre las plantas disminuyen las malformaciones de raíces y mejora la morfología de las plantas. La longitud de raíces será mayor en bolsas sin tratar, lo que provocará como consecuencia la deformación de estas y menor supervivencia de las plantas en campo al plantarlas.

El número de raíces promedio fue 1.77 para las plantas que crecieron en el sustrato a base de aserrín-corteza. El valor mayor del número de raíces se encontró en las plantas producidas en bolsas sin cobre (Cuadro 7). El número de raíces promedio fue 3.63 para las plantas que crecieron en el sustrato a base de corteza, turba, vermiculita y agrolita. El número de raíces mayor se encontró en las plantas producidas en bolsas sin cobre (Cuadro 7). El número de raíces fue dos veces mayor en el sustrato a base de corteza, turba, vermiculita y agrolita que con aserrín-corteza. El número de raíces con el sustrato aserrín-corteza fue ligeramente menor que el reportado en el primer ensayo a base de aserrín-corteza. Las bolsas con y sin cobre en las plantas de *B. linanoe* mostraron valores muy similares en la cantidad de raíces. Lo contrario reportaron Barajas-Rodríguez *et al.*, 2004 en plantas de *Pinus greggii* las cuales mostraron un sistema radical más denso en las bolsas con una cubierta de cobre. Con esto concuerdan Pacheco-Escalona *et al.* (2007), los cuales mencionaron en plantas de *Pinus greggii* efecto del tratamiento con cobre mejoraron la producción de follaje y mayor cantidad de raíces, estas

características proporcionaron ventajas supervivencia a las plantas llevadas a sitios con limitaciones de agua y nutrientes. Según Campbell and Hawkins (2004), la fuente de semilla en *Betula papyrifera* determinó las características de las raíces, al presentar raíces mejor conformadas y grandes, que le permitieron arraigarse mejor. La cantidad de raíces se atribuyen a características genéticas.

El peso seco de raíces promedio fue 0.76 gr para las plantas que crecieron en el sustrato a base de aserrín-corteza. El valor mayor del peso seco de raíces se encontró en las plantas producidas en bolsas con cobre (Cuadro 8). El peso seco de raíces promedio fue 3.62 gr para las plantas que crecieron en el sustrato a base de corteza, turba, vermiculita y agrolita (Cuadro 8).

Cuadro 8. Valores promedio \pm error estándar de las características de peso y biomasa de plantas de *B. linanoe* evaluadas en dos tipos de envase y sustratos.

| Tratamiento | | Características | | | | | |
|-------------|---|-----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| | | PRA (gr) | PT (gr) | PR (gr) | PF (gr) | BTA (gr) | BTOT (gr) |
| BSC | A | 0.7 \pm 0.2 | 1.8 \pm 0.4 | 0.0 \pm 0.0 | 0.4 \pm 0.1 | 2.2 \pm 0.5 | 2.9 \pm 0.6 |
| BCC | A | 0.8 \pm 0.3 | 1.4 \pm 0.5 | 0.1 \pm 0.0 | 0.3 \pm 0.1 | 1.7 \pm 0.6 | 2.3 \pm 0.8 |
| BSC | P | 3.7 \pm 0.3 | 7.7 \pm 0.6 | 1.1 \pm 0.2 | 2.5 \pm 0.3 | 11.3 \pm 0.8 | 15.1 \pm 1.0 |
| BCC | P | 3.5 \pm 0.4 | 6.8 \pm 0.7 | 1.2 \pm 0.2 | 2.2 \pm 0.2 | 10.2 \pm 0.9 | 13.7 \pm 1.3 |

BSC=bola sin cobre; BCC=bolsa con cobre; A=aserrín y corteza; P=corteza, turba, vermiculita y agrolita; PRA=peso de raíces; PT=peso del tallo; PR=peso de ramas; PF=peso de follaje; BTA=biomasa total aérea; BTOT=biomasa total.

El peso seco de raíces fue cinco veces mayor en el sustrato con corteza, turba, vermiculita y agrolita. El peso seco de raíces con el sustrato aserrín-corteza fue ligeramente menor que el reportado en el primer ensayo a base de aserrín-corteza. El peso seco de las raíces fue muy similar en ambos tipos

de bolsa evaluados. Mateo *et al.* (2014) mencionaron que el peso seco de raíces de plantas de *Acacia retinodes* fue mayor en bolsas con cobre (1.4 gr) vs bolsas sin cobre (0.98 gr). Así también el peso seco de raíz de plantas de *Pinus greggii* fue favorecido en las plantas producidas con charolas con cobre (0.9gr) vs charolas sin cobre (0.8 gr) (Aldrete *et al.*, 2005). Algo similar reportó Barajas-Rodríguez *et al.* (2004) en sus estudios en plantas de *Pinus greggii* mencionaron que el peso seco de raíz fue mayor en el tratamiento con cobre (1.1 gr) y tratamiento sin cobre (0.9 gr). De acuerdo con Rodríguez *et al.* (2015), el volumen de raíces en *Solanum melongena* L. fue 5.83% mayor con tratamiento con cobre que con el testigo. Lo contrario reportaron Arboleda *et al.* (2002), en el peso seco de raíces *Pachyra insignis* el cual fue menor en las plantas tratadas con cobre. Mateo *et al.* (2014), mencionaron que el peso seco de raíces en las plantas de *Acacia retinodes* fue 2.4 veces mayor en sustratos a base de aserrín-tierra de monte y aserrín-lombricomposta que el testigo, a base de tierra de monte y tezontle. En evaluaciones por Mateo-Sánchez *et al.* (2011) en plantas de *Cedrela odorata* L., el peso seco de raíz fue mejor en la mezcla de sustrato con 60 % de aserrín y 40 % de mezcla de peat moss-agrolita-vermiculita (1.56). Aguilera *et al.* (2015), reportaron en plantas de *Pinus pseudostrobus* que el peso seco de raíz fue mejor utilizando aserrín crudo (1.62) que con aserrín intemperizado (1.55). El sustrato y el tipo de envase que para algunas especies podría funcionar para otras especies podrían afectar en su desarrollo y crecimiento. El efecto de la cubierta de cobre sobre las raíces puede depender de la especie y también de las características genéticas heredadas.

El peso seco de tallo promedio fue 1.59 gr para las plantas que crecieron en el sustrato a base de aserrín-corteza. El valor mayor del peso de tallo se encontró en las plantas producidas en bolsas sin cobre (Cuadro 8). El peso seco de tallo promedio fue 7.26 gr para las plantas que crecieron en el sustrato a base de corteza, turba, vermiculita y agrolita. El peso de tallo mayor se encontró en las plantas producidas en bolsas con cobre (Cuadro 8). El mayor peso del tallo se registró en el sustrato

con corteza, turba, vermiculita y agrolita. El resultado del peso del tallo promedio con el sustrato de aserrín-corteza fue muy similar al primer ensayo a base de aserrín-corteza. El peso seco del tallo fue cinco veces mayor en el sustrato de corteza, turba, vermiculita y agrolita que el de aserrín-corteza. El peso seco del tallo fue ligeramente mayor en bolsas sin cobre. Datos contrarios reportan Mateo *et al.* (2014), en plantas de *Acacia retinodes* donde el peso de tallo mayor fue en bolsas tratadas con cobre (4.76). Este mismo autor también menciona que el peso seco de tallo fue 3.5/3.8 veces mayor en las plantas producidas en sustratos a base de aserrín-tierra de monte y aserrín-lombricomposta que el testigo a base de tierra de monte y tezontle.

El peso seco de rama promedio fue 0.05 gr para las plantas que crecieron en el sustrato a base de aserrín-corteza. El valor mayor del peso seco de rama se encontró en las plantas producidas en bolsas con cobre (Cuadro 8). El peso seco de rama promedio fue 1.19 gr para las plantas que crecieron en el sustrato a base de corteza, turba, vermiculita y agrolita. El peso seco de rama mayor se encontró en las plantas producidas en bolsas con cobre (Cuadro 8). El peso seco de ramas fue mayor en el sustrato con corteza, turba, vermiculita y agrolita. Esto debido a que presentaron siete veces más ramas que en el sustrato a base de aserrín-corteza, es evidente que un mayor número de ramas presentará un mayor peso, es escasa la información que registre esta variable en las plantas en vivero. Las plantas de *B. linanoe* presentaron desde muy temprana edad ramas. En el presente estudio se encontró que el desarrollo de ramas fue afectado por el tipo de sustrato empleado. El peso de ramas no vario entre el tipo de bolsa utilizado. Los resultados de peso seco de ramas no vario en los resultados de los dos ensayos con el sustrato a base de aserrín-corteza.

El peso seco de follaje promedio fue 0.30 gr para las plantas que crecieron en el sustrato a base de aserrín-corteza. El valor mayor del peso de follaje se encontró en las plantas producidas en bolsas sin cobre (Cuadro 8). El peso de follaje promedio fue 2.3 gr para las plantas que crecieron en el sustrato a

base de corteza, turba, vermiculita y agrolita. El peso de follaje mayor se encontró en las plantas producidas en bolsas sin cobre (Cuadro 8). El peso seco del follaje fue mayor en las plantas producidas en el sustrato corteza, turba, vermiculita y agrolita; esto concuerda con lo registrado en el número de ramas las cuales también fueron más abundantes en este mismo sustrato. El peso del follaje fue siete veces más en el sustrato de corteza, turba, vermiculita y agrolita que a base de aserrín-corteza. Rodríguez *et al.* (2015), registró en plantas de *Solanum melongena* L. que el número de hojas se incrementó en un 31.25% con la aplicación de tratamiento con cobre a diferencia de las plantas testigo. Lo reportado por Pacheco-Escalona *et al.* (2007) en plantas de *Pinus greggii*. la poda química influyó en mejor absorción de N y producción de follaje

La biomasa total aérea promedio fue 1.93 gr para las plantas que crecieron en el sustrato a base de aserrín-corteza. El valor mayor de la biomasa total aérea se encontró en las plantas producidas en bolsas sin cobre (Cuadro 8). La biomasa total aérea promedio fue 10.77 gr para las plantas que crecieron en el sustrato a base de corteza, turba, vermiculita y agrolita. La biomasa total aérea mayor se encontró en las plantas producidas en bolsas sin cobre (Cuadro 8). La biomasa total aérea mayor se registró en el sustrato de corteza, turba, vermiculita y agrolita. En este sustrato se presentó el mayor número de ramas y peso seco de follaje. La biomasa total aérea fue mejor en las bolsas sin cobre. La biomasa total aérea no mostró mucha variación en el sustrato de aserrín-corteza en los dos ensayos evaluados. Lo contrario registraron para plantas de *Pinus greggi* el peso seco de la parte aérea mayor se produjo en bolsas tratadas con cobre (2.68) (Aldrete *et al.*, 2005). Mateo-Sánchez *et al.* (2011) encontraron en plantas de *Cedrela odorata* L., que el peso seco aéreo fue mejor en el sustrato con 10 % de aserrín y 90 % de mezcla de peat moss-agrolita-vermiculita (1.86). Aguilera *et al.* (2015), reportaron que plantas de *Pinus pseudostrabus* fue mejor en los valores de peso seco aéreo en el sustrato de aserrín intemperizado (4.72) que con aserrín crudo (4.44). También, Reyes *et al.* (2005), mencionaron en

evaluaciones realizadas en plantas de *Pinus pseudostrobus*, que el mayor peso seco aéreo fue en el sustrato compuesto por 80% de aserrín y 20 % peat moss (2.48) y el menor valor de esta variable se encontró en sustrato de la mezcla de 80% de aserrín + 20% de corteza de pino (1.32).

La biomasa total promedio fue 2.7 gr para las plantas que crecieron en el sustrato a base de aserrín-corteza. El valor mayor de la biomasa total se encontró en las plantas producidas en bolsas sin cobre (Cuadro 8). La biomasa total promedio fue 14.39 gr para las plantas que crecieron en el sustrato a base de corteza, turba, vermiculita y agrolita. La biomasa total mayor se encontró en las plantas producidas en bolsas sin cobre (Cuadro 8). La biomasa total fue cinco veces mayor en el sustrato a base del sustrato corteza, turba, vermiculita y agrolita que en el de aserrín-corteza. Los resultados de biomasa total con el sustrato aserrín-corteza fue mayor en el primer ensayo a base de aserrín-corteza. Mateo-Sánchez *et al.* (2011) en plantas de *Cedrela odorata L.*, el peso seco total fue mejor en la mezcla de sustrato con 60 % de aserrín y 40 % de mezcla de peat moss-agrolita-vermiculita (3.2 gr) y el valor menor de biomasa total fue con el sustrato 30 % de aserrín y 70 % mezcla de peat moss-agrolita-vermiculita.

La proporción altura/raíz promedio fue 3.07 para las plantas que crecieron en el sustrato a base de aserrín-corteza. El valor mayor de la proporción altura/raíz se encontró en las plantas producidas en bolsas sin cobre (Cuadro 9). La proporción altura/raíz promedio fue 3.06 para las plantas que crecieron en el sustrato a base de corteza, turba, vermiculita y agrolita. La proporción altura/raíz fue muy similar en los dos tipos de bolsa (Cuadro 9).

Cuadro 9. Valores promedio \pm error estándar de los índices de calidad de plantas de *B. linanoe* evaluadas en dos tipos de envase y sustratos.

| Tratamiento | | Índices de calidad | | |
|-------------|---|------------------------|--------------------|------------------------------|
| | | Proporción altura/raíz | Índice de esbeltez | Índice de calidad de Dickson |
| BSC | A | 3.37 \pm 0.19 | 1.90 \pm 0.12 | 0.57 \pm 0.11 |
| BCC | A | 3.08 \pm 0.35 | 1.78 \pm 0.15 | 0.57 \pm 0.16 |
| BSC | P | 3.06 \pm 0.12 | 2.99 \pm 0.13 | 2.48 \pm 0.14 |
| BCC | P | 3.06 \pm 0.18 | 2.78 \pm 0.16 | 2.39 \pm 0.24 |

BSC=bola sin cobre; BCC=bolsa con cobre; A=aserrín y corteza; P=corteza, vermiculita, agrolita y peat moss;

La proporción altura/raíz fue muy similar en los dos sustratos utilizados. Algo contrario reportaron Arboleda *et al.*, 2002 en la relación parte aérea y radical en plantas de *Pachyra insignis* las cuales fueron afectadas por la aplicación del cobre (0.83) sin embargo las plantas de *Andira inermis* fueron favorecidas con el tratamiento con cobre (1.05). También, Barajas-Rodríguez *et al.* (2004), mencionaron que la relación parte aérea y radical fue mayor en el tratamiento con cobre (0.38) que a otros tratamientos. Mateo-Sánchez *et al.* (2011) en plantas de *Cedrela odorata L.*, reportaron para la proporción parte aérea y raíz que el mayor valor correspondió al tratamiento con la mezcla de sustrato con 10 % de aserrín y 90 % de mezcla de peat moss-agrolita-vermiculita (4.26), seguidos por las mezclas con 50 y 30 de aserrín. Aguilera *et al.* (2015), reportaron en plantas de *Pinus pseudostrobus* que el sustrato aserrín crudo fue mejor en los valores de relación peso seco aéreo y peso seco de raíz (3.7) que con aserrín intemperizado (3.47). Según Reyes *et al.* (2005), mencionaron en plantas de *Pinus pseudostrobus*, que la mayor relación de parte aérea y raíz, fue en un sustrato compuesto por 80% de

aserrín y 20 % peat moss (2.33). Según Maldonado-Benítez *et al.* (2011), en plantas de *Pinus greggii*, la relación parte área y raíz fue mayor en el sustrato con 40% aserrín + 60% corteza con 4 g L⁻¹ de hidrogel (3.83).

El índice de esbeltez promedio fue 1.84 para las plantas que crecieron en el sustrato a base de aserrín-corteza. El valor mayor del índice de esbeltez se encontró en las plantas producidas en bolsas sin cobre (Cuadro 9). El índice de esbeltez promedio fue 2.89 para las plantas que crecieron en el sustrato a base de corteza, turba, vermiculita y agrolita. El índice de esbeltez fue mayor en bolsas con cobre (Cuadro 9). El índice de esbeltez fue mayor en el sustrato a base de corteza, turba, vermiculita y agrolita. El índice de esbeltez fue muy similar en los dos ensayos utilizando como base el sustrato de aserrín-corteza. El tipo de bolsa no influyó en las diferencias del índice de esbeltez, los valores fueron muy similares. Mateo-Sánchez *et al.* (2011) registraron en plantas de *Cedrela odorata L.*, valores mayores en el índice de esbeltez en el tratamiento donde contenía 80 % de aserrín y 20 % de mezcla de peat moss-agrolita-vermiculita (4.76), el valor más bajo se registró en las mezclas con 90 % de aserrín (3.96). Valores altos reportaron Reyes *et al.* (2005) en el índice de esbeltez para plantas de *Pinus pseudostrabus*, en el sustrato compuesto por 80% de aserrín y 20 % tierra de monte (6.55), el menor valor se presentó en la mezcla con 80% aserrín + 20% peat moss (5.74). En plantas de *Pinus greggii* el índice de esbeltez fue mayor en el sustrato con 60% aserrín + 40% corteza 2 g L⁻¹ hidrogel (7.71) (Maldonado-Benítez *et al.*, 2011). Los valores del índice de esbeltez serán diferentes de acuerdo a la especie que se estudie y será variable dependiendo de la combinación de sustrato que se utilice.

El índice de calidad de Dickson promedio fue 0.57 para las plantas que crecieron en el sustrato a base de aserrín-corteza. El valor del índice de calidad de Dickson fue igual en ambos tipos de bolsas (Cuadro 9). El índice de calidad de Dickson promedio fue 2.44 para las plantas que crecieron en el sustrato a base de corteza, turba, vermiculita y agrolita. El índice de Dickson fue mayor en bolsa sin

cubierta de cobre (Cuadro 9). El índice de calidad de Dickson fue cuatro veces mayor en el sustrato a base de corteza, turba, vermiculita y agrolita que en el de aserrín-corteza. El valor de calidad de Dickson con el sustrato a base de aserrín-corteza fue ligeramente mayor en el primer ensayo a base de aserrín-corteza. Valores menores registraron Barajas-Rodríguez *et al.* (2004) en la calidad de Dickson para plantas de *Pinus greggii* con el tratamiento con cobre (0.46) y sin tratamiento de cobre (0.37). También Mateo-Sánchez *et al.* (2011) reportaron en plantas de *Cedrela odorata L.*, el índice de calidad de Dickson los valores mayores se encontraron en los tratamientos con las mezclas que contenía 70 % de aserrín y 30 mezcla de peat moss-agrolita-vermiculita (0.31) y el valor menor fue con el sustrato 30 % de aserrín y 70 % mezcla de peat moss-agrolita-vermiculita (0.17). Aguilera *et al.* (2015), reportaron en plantas de *Pinus pseudostrabus* que los valores de índice de calidad de Dickson fue mejor utilizando sustrato con aserrín crudo que con aserrín intemperizado. De acuerdo a Reyes *et al.* (2005), mencionaron en plantas de *Pinus pseudostrabus*, que el mayor índice de calidad de Dickson se registró, en el sustrato compuesto por 80% de aserrín y 20 % peat moss (0.48), el menor valor se presentó en la mezcla con 80% aserrín + 20% tierra de monte (0.25). Maldonado-Benítez *et al.*, (2011), registraron en plantas de *Pinus greggi*, que el índice de calidad de Dickson fue mayor en el sustrato testigo (0.28) y el valor menor fue en la mezcla 60% corteza + 40% aserrín 2 g L^{-1} (0.20). En general las plantas de *B. linanoe* crecieron mejor en el sustrato a base de corteza, turba, vermiculita y agrolita. El sustrato a base de aserrín-corteza fue superado en todas las variables, aunque habría que evaluar otras proporciones y aumentar la dosis de fertilización para mejorar el desarrollo de las plantas. Se puede mencionar que las variables fueron ligeramente mayores en las bolsas sin cobre. Aunque cabe resaltar que la longitud de la raíz fue menor en las bolsas con cobre, en la cual puede tener una ventaja en evitar el espiralamiento y un mejor establecimiento de la planta en el campo. Un sustrato de calidad necesita tener un equilibrio y buena distribución en sus partículas, una gran capacidad de aireación y agua fácilmente disponible

(Mateo *et al.*, 2014). La respuesta de las plantas de *B. linanoe* a la cubierta de cobre en el interior de las bolsas puede variar entre especies, dentro de la misma especie y de la fuente de la semilla utilizada (Aldrete *et al.*, 2005). Los estudios de poda química mencionan que el beneficio de este tratamiento permite asegurar un buen establecimiento a las plantas en el lugar de plantación (Aldrete *et al.*, 2005; Pacheco-Escalona *et al.*, 2007). Las plantas responden de manera positiva o negativa cuando son sometidas a algún cambio en el proceso de producción, ya sea en el tipo de envase, sustrato o podas (Basave *et al.*, 2014; Cetina-Alcalá *et al.*, 2002). Las características físicas del sustrato corteza, turba, vermiculita y agrolita permitieron una mayor cantidad de agua disponible así como también una mejor disponibilidad de los nutrientes lo que ayudó en un mejor desarrollo de la planta de *B. linanoe*.

3.6. CONCLUSIONES

Se registró una amplia variación en las características morfológicas aéreas como radicales de las plantas de *B. linanoe* provenientes de 20 árboles. Los árboles 5 y 6 fueron los que mostraron los mejores valores de crecimiento. Los árboles 1 y 4 fueron los que presentaron los valores más bajos de crecimiento. Las plantas producidas en envase sin cobre registraron plantas con mayor número y longitud de raíces. Las características morfológicas e índices de calidad en plantas de *B. linanoe* fueron mejores en el sustrato a base de corteza, turba, vermiculita y agrolita.

3.7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera Rodríguez M., A. Aldrete, T. Martínez Trinidad y V. M. Ordaz Chaparro (2015)** Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7:7-19.
- Aldrete A., J. G. Mexal y J. López-Upton (2005)** Variación entre procedencias y respuesta a la poda química en plántulas de *Pinus greggii*. *Agrociencia* 39:563-574.
- Andrés Hernández A. R., y D. Espinosa Organista (2002)** Morfología de plántulas de *Bursera* Jacq. ex L. (Burseraceae) y sus implicaciones filogenéticas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 70: 5-12.
- Arboleda M. E., D. Bautista y N. Mogollón (2002)** Efecto del hidróxido de cobre sobre el crecimiento de las especies arbóreas *Pachyra insignes* y *Andira inermis* en condiciones de vivero. *Bioagro* 14:65-70.
- Barajas-Rodríguez J. E., A. Aldrete, J. J. Vargas-Hernández y J. López-Upton (2004)** La poda química en vivero incrementa la densidad de raíces en árboles jóvenes de *pinus greggii*. *Agrociencia* 38: 545-553.
- Basave Villalobos E., M. A. López López, V. M. Cetina Alcalá, A. Aldrete y J. J. Almaraz Suárez (2014)** Prácticas culturales en vivero que influyen en la calidad de la planta de *Enterolobium cyclocarpum*. *Bosque* 35: 301-309.
- Cabal A., A. Kidelman, U. Ortega, M. Duñabeitia y J. Majada (2005)** Influencia de la poda química en la biomasa y desarrollo radical de *Pinus pinaster* Ait. y *Pinus radiata* D. Don. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 14:52-63.

- Campbell K. A., and C. D. B. Hawkins (2004)** Effect of seed source and nursery culture on paper birch (*Betula papyrifera*) uprooting resistance and field performance. *Forest Ecology and Management* 196:425-433.
- Castro Laportte M. (2013)** Estudio taxonómico del género *Bursera* Jacq. Ex L. (Burseraceae) en Venezuela. *ERNSTIA* 23: 125-169.
- Cetina-Alcalá, V. M., V. A. González-Hernández, M. L. Ortega-Delgado, J. Vargas-Hernández y A. Villegas-Monter (2002)** Supervivencia y crecimiento en campo de *Pinus greggii* Engelm. Previamente sometido a podas o sequía en vivero. *Agrociencia* 36: 233-241.
- Coutiño-Estrada B., y V. A. Vidal-Martínez (2006)** Componentes de varianza de híbridos de maíz evaluados en la faja maicera de los Estados Unidos. *Agrociencia* 40: 89-98.
- Cruz-Cruz E., V. Mariles-Flores, M. Gómez-Cárdenas y D. Vargas-Álvarez (2009)** Fundamentos Técnicos para el Manejo de Poblaciones Naturales de Linaloe (*Bursera linanoe* (La llave) Rzedowski, Calderón & Medina) en México. INIFAP-Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oaxaca. México. Libro Técnico No. 14. 289 p.
- De la Cerda-Lemus M. E. (2011)** La familia Burseraceae en el Estado de Aguascalientes, México. *Acta Botánica Mexicana* 94: 1-25.
- Dickson A., A. L. Leaf and J. F. Hosner (1960)** Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The forestry chronicle* 36: 10-13.
- Durán Guerra O., A. Quintanar Isaías J. Villanueva D., A. T. Jaramillo-Pérez y J. Cerano Paredes (2014)** Características anatómicas de la madera de *Bursera lancifolia* (Schltdl.) Engl. con potencial dendrocronológico. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 05: 76-87.
- Falconer D. S. and T. F. C. Mackay (1996)** Introduction to Quantitative Genetics. 4th ed. Longman, Exxex, Uk. 464 p.

- Farfán V. E. G., J. Jasso Mata, J. López Upton, J. J. Vargas Hernández, C. Ramírez Herrera (2002)** Parámetros genéticos y eficiencia a la selección temprana en *Pinus ayacahuite* Ehren. var. *ayacahuite*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25:239-246.
- Grez R., y V. Gerding (1995)** Corteza, desecho reciclable de la industria forestal como formador de sustratos para la producción vegetal. *Bosque* 16: 105-114.
- Hernández Vásquez R., E. Cruz Cruz, G. O. Díaz Zorrilla, M. I. Pérez León, S. Lozano Trejo y V. A. Velasco Velasco (2013)** Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio en estacas de linaloe (*Bursera linanoe*) Andresen. *REMEXCA* 06: 1119-1128.
- Johnson J. D. and M. L. Cline (1991)** Seedling quality of Southern Pines. In: *Forest Regeneration Manual*. M. L. Duryea and P. M Dougherty eds. Netherlands. Kluwer Academic Publishers. 143-159.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald y J. P. Barnett (1990)** Contenedores y medios de crecimiento. Vol. 2. In: *Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor*. Manual Agrícola 674. Washington, DC: U. S. Departamento de Agricultura de los EU. Servicio Forestal. 91 p.
- Maldonado-Benitez K. R., A. Aldrete, J. López-Upton, H. Vaquera-Huerta y V. M. Cetina-Alcalá (2011)** Producción de *Pinus greggii* engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego, en vivero. *Agrociencia* 45: 389-398.
- Mateo Sánchez J. J., J. Capulín Grande, M. R. Araujo Santana, A. Suárez Islas, B. Mitjans Moreno (2014)** Crecimiento de *Acacia retinodes* Schltld. en sustratos a base de aserrín de pino y envases tratados con cobre. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 2:1-19.

- Mateo-Sánchez J. J., R. Bonifacio-Vázquez, S. R. Pérez-Ríos, L. Mohedano-Caballero y J. Capulín-Grande (2011)** Producción de (*Cedrela odorata* L.), en sustrato a base de aserrín crudo en sistema tecnificado en Tecpan de Galeana, Guerrero, México. *Ra Ximhai* 7:123-132.
- Molina G. J. D. (1992)** Introducción a la Genética de Poblaciones y Cuantitativa (Algunas Implicaciones en Genotecnia). A. G. T., México, D. F. 349 p.
- Pacheco-Escalona F. C., A. Gómez-Guerrero, A. Aldrete, A. M. Fierros-González y V. M. Cetina-Alcalá (2007)** Absorción de nitrógeno y crecimiento de *pinus greggii* engelm. seis años después de una poda química de raíz. *Agrociencia* 41:675-685.
- Pérez Pelea L., A. Sigarroa González, N. N. Rodríguez Medina, E. Bandera Fernández, y J. Valdés-Infante (2013)** Estimación de la heredabilidad en sentido ancho a caracteres de importancia agrícola evaluados en una población de guayabo (*Psidium guajava* L.). *Cultivos Tropicales* 34: 66-73.
- Ramírez-Contreras A. y D. A. Rodríguez-Trejo (2014)** Efecto de la calidad de planta, exposición de micrositio en una plantación de *Quercus rugosa*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 10: 5-11.
- Reyes Reyes J., A. Aldrete, V. M. Cetina Alcalá y J. López Upton (2005)** Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. *Apulcensis* en sustratos a base de aserrín. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 11:105-110.
- Rodríguez T., D. A. (2008)** Indicadores de Calidad de Planta Forestal. México, Texcoco. Mundi-Prensa. 156 p.
- Rodríguez Z. F., M. Gutiérrez, J. G. Lugo, L. Gruber, y L. Díaz (2015)** Respuesta de las plantas de berenjena a la poda química de raíces. *Bioagro* 27:189-194.
- Ruano M., J. R. (2008)** Viveros Forestales. 2ª edición. Madrid: Ediciones Mundi Prensa. 285 p.

- Rzedowski J., R. Medina Lemos y G. Calderón de Rzedowski (2005)** Inventario del conocimiento taxonómico, así como de la biodiversidad y del endemismo regionales de las especies mexicanas de *Bursera* (Burseraceae). *Acta Botánica Mexicana* 70: 85-111.
- Rzedowski J., R. Medina Lemus y G. Calderón de Rzedowski (2004)** Las especies de *Bursera* (Burseraceae) en la cuenca superior del río Papaloapan (México). *Acta Botánica Mexicana* 66: 23-151.
- Salto C. S., M. A. García y L. Harrant (2013)** Influencia de diferentes sustratos y contenedores sobre variables morfológicas de plantines de dos especies de *Prosopis*. *Quebracho* 21:90-102.
- Solares-Arenas F., E. Cruz-Cruz, M. Gómez-Cárdenas, D. Vargas-Álvarez, A. Boja-de la Rosa, V. Mariles-Flores, V. Serrano-Altamirano, M. E. Fuentes-López, S. Orozco-Cirilo, J. F. Castellanos-Bolaños y D. Ayerde-Lozda (2009)** El proceso de extracción de aceite de linaloe (*Bursera linanoe* (La Llave) Rzedodwski, Calderon & Medina) en los Estados de Morelos y Guerrero. *In: Fundamentos técnicos para el manejo de poblaciones naturales de Linaloe (Bursera linanoe* (La llave) Rzedowski, Calderón & Medina) en México. Cruz Cruz E., V. Mariles Flores, M. Gómez Cárdenas y D. Vargas Álvarez (Comp.). INIFAP- Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Santo Domingo Barrio Bajo, Etna, Oaxaca. México. Libro técnico 14:177-196.
- Trejo I. y J. Hernández (1996)** Identificación de la selva baja caducifolia en el estado de Morelos, México, mediante imágenes de satélite. *Investigaciones geográficas* 05: 11-18.