



# UNIVERSIDAD DEL MAR CAMPUS PUERTO ESCONDIDO

CALIDAD DE PLANTA Y VARIACIÓN DE SEMILLAS EN *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. EN LA REGIÓN COSTA DE OAXACA

## **T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
TÍTULO DE  
**INGENIERO FORESTAL**

PRESENTA

**RENÉ ROBLES SILVA**

DIRECTOR DE TESIS

**M. EN C. MARIO VALERIO VELASCO GARCÍA**

PUERTO ESCONDIDO, OAXACA, NOVIEMBRE DE 2010

Con amor, respeto y admiración  
a mi madre la *Sra. Susana Robles Silva*.  
Quien se ha enfrentado a la vida como una  
amazona, abatiendo todos los obstáculos  
que se le han interpuesto.

Tus desvelos, regaños y consejos  
han valido la pena.

## AGRADECIMIENTOS

A mi familia por el gran esfuerzo que realizaron para ayudarme a culminar mis estudios, pero sobre todo por su comprensión por mis grandes ausencias.

Al M. en C. Mario V. Velasco García, por creer en el presente trabajo y dedicarle el tiempo necesario; además, sus consejos y regaños me han hecho crecer como persona y profesionalista, sólo puedo decirle... ¡Gracias!

Al Dr. Noé Ruíz García y al M. en C. Guillermo Sánchez de la Vega por abordar este barco que parecía no tener forma, pero con sus comentarios y sugerencias lograron que zarpara sin ningún problema a su destino final.

Al Dr. Narciso Isaac Ávila Serrano por brindarme todas las facilidades para la colecta de frutos en Santa María Cortijo. Además, siempre tuvo tiempo para explicarme hasta la última duda, sus enseñanzas fueron cruciales para terminar este proyecto.

Al M. en C. Rolando Galán Larrea por facilitarme la colecta de frutos en Pinotepa de Don Luis. Además, de su gran paciencia para resolver mis grandes interrogantes.

A la M. en C. Verónica Ortega Baranda y el Dr. Eric Pablo Carrillo quienes fungieron como revisores, sus comentarios lograron enriquecer este trabajo.

Estaré infinitamente agradecido con aquellas personas que me llevaron de la mano desde los crayones hasta la investigación, ya que en todo momento han puesto a prueba mis capacidades. Además, quiero externar mi gratitud a la M. en C Rosalía Guerrero Arenas y a la M. C. Rosario García Alavez quienes fueron excelentes profesoras durante mi formación académica

A todos mis compañeros que con entusiasmo colaboraron en el presente trabajo. Al Sr. Aurelio y Sr. Alfredo del campo experimental Bajos de Chila quienes me apoyaron en la producción de planta e hicieron más amena

mi estadía en el vivero. A Beatriz Pinacho Santana quien me ayudó en el procesamiento de las muestras en el laboratorio.

A mis compañeros de generación 2003-2008 con quienes compartí grandes dudas y momentos gratos; pero sobre todo a Marycruz y Cornelio, ya que con ellos emprendí grandes proyectos y siempre resultamos vencedores.

A la Lic. Eva Isabel Ibáñez Márquez por la traducción del resumen.

## ÍNDICE

	Página
Índice de cuadros.....	iv
Índice de figuras.....	vii
Resumen.....	viii
Abstrac.....	x
I. Introducción.....	1
II. Objetivos.....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
III. Hipótesis.....	3
IV. Revisión de literatura.....	4
4.1. <i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.....	4
4.1.1. Descripción botánica.....	4
4.1.2. Fenología.....	5
4.1.3. Ecología y distribución.....	5
4.1.4. Usos.....	6
4.1.5. Plagas y enfermedades.....	7
4.1.6. Manejo y aprovechamiento.....	7
4.2. El éxito de la repoblación forestal.....	9
4.3. Calidad de planta.....	10
4.3.1. Tipos de calidad de planta.....	10
4.3.2. Indicadores de calidad de planta.....	11
4.3.3. Factores que influyen en la calidad de planta.....	13
4.4. Relación semilla-planta.....	15
4.5. Implicaciones de la procedencia.....	18
4.5.1. Relación de la procedencia y la calidad de planta.....	19
V. Materiales y métodos.....	21

5.1.	Procedencias y colecta de frutos.....	21
5.2.	Variación de semillas entre procedencias.....	21
5.2.1.	Análisis estadístico.....	21
5.3.	Desarrollo de los ensayos.....	25
5.4.	Ensayo relación semilla-planta.....	25
5.4.1.	Establecimiento del ensayo.....	26
5.4.2.	Índice de transformación.....	28
5.4.3.	Análisis estadístico.....	29
5.5.	Ensayo de procedencias.....	30
5.5.1.	Análisis estadístico.....	30
5.6.	Control de plagas y enfermedades en el cultivo de <i>E. cyclocarpum</i>	31
VI.	Resultados y discusión.....	33
6.1.	Variación de semillas entre procedencias.....	33
6.2.	Ensayo relación semilla-planta.....	37
6.2.1.	Variación natural en el tamaño de semilla.....	37
6.2.2.	Índice de transformación.....	42
6.2.3.	Relación tamaño de semilla-planta.....	45
6.2.4.	Tasa de crecimiento.....	53
6.3.	Ensayo de procedencias.....	57
VII.	Conclusiones.....	67
VIII.	Recomendaciones.....	68
8.1.	Investigaciones.....	68
8.2.	Para la producción de planta.....	68
IX.	Literatura citada.....	69
	Anexo 1. Especies utilizadas en la discusión de los resultados.....	84
	Anexo 2. Análisis de varianza para largo, ancho, espesor y peso de semilla de 10 procedencias de <i>E. cyclocarpum</i> de la Costa de Oaxaca.....	85
	Anexo 3. Análisis de varianza para tres tamaños de semilla de <i>E.</i>	

<i>cyclocarpum</i> de la procedencia San Francisco.....	86
Anexo 4. Análisis de varianza en tres tamaños de semilla de <i>E. cyclocarpum</i> , para las variables peso seco de semilla, índice de transformación y contenido de agua.....	87
Anexo 5. Análisis de varianza para el efecto de tamaño de semilla sobre el tamaño de planta de <i>E. cyclocarpum</i> a tres semanas de cultivo en vivero.....	88
Anexo 6. Análisis de varianza para el efecto de tamaño de semilla sobre el tamaño de planta de <i>E. cyclocarpum</i> a 19 semanas de cultivo en vivero.....	89
Anexo 7. Análisis de varianza para el crecimiento en altura y diámetro de brinzales de <i>E. cyclocarpum</i> de tres tamaños de semilla, cultivados durante 19 semanas.....	90
Anexo 8. Análisis de varianza para el efecto de la procedencia sobre el tamaño de planta de <i>E. cyclocarpum</i> de la Costa de Oaxaca, a tres semanas de cultivo en vivero.....	91
Anexo 9. Análisis de varianza para el efecto de la procedencia sobre el tamaño de planta de <i>E. cyclocarpum</i> de la Costa de Oaxaca, a 19 semanas de Cultivo en vivero.....	92
Anexo 10. Análisis de varianza para el crecimiento en altura y diámetro de brinzales de <i>E. cyclocarpum</i> de diez procedencias, cultivados durante 19 semanas.....	93

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Fenología reproductiva de <i>E. cyclocarpum</i> en Veracruz (Moreno <i>et al.</i> , 2009).....	5
Cuadro 2. Índices para determinar calidad de planta en vivero.....	12
Cuadro 3. Localización y características de las procedencias de <i>E. cyclocarpum</i> colectadas en la región Costa de Oaxaca, utilizadas en el ensayo de calidad de planta.....	23
Cuadro 4. Programa de fertilización y riego aplicado a brinzales de <i>E. cyclocarpum</i> .....	27
Cuadro 5. Síntomas y control de plagas y enfermedades que afectan a <i>E. cyclocarpum</i> en vivero.....	32
Cuadro 6. Comparación de medias y error estándar para las variables cuantitativas y cualitativas de semillas de 10 procedencias de <i>E. cyclocarpum</i> de la Costa de Oaxaca.....	34
Cuadro 7. Coeficiente de variación para largo, ancho, espesor y peso de semilla para 10 procedencias de <i>E. cyclocarpum</i> de la Costa de Oaxaca.....	35
Cuadro 8. Correlaciones de variables de semilla con la precipitación y variables geográficas en 10 procedencias de <i>E. cyclocarpum</i> en la Costa de Oaxaca.....	37
Cuadro 9. Estadísticos descriptivos para cuatro variables de semillas de <i>E. cyclocarpum</i> de la procedencia San Francisco.....	38
Cuadro 10. Correlaciones estimadas para largo, ancho y espesor de semilla de <i>E. cyclocarpum</i> de la procedencia San Francisco.....	39
Cuadro 11. Correlaciones estimadas para cuatro variables de tres tamaños de semillas de <i>E. cyclocarpum</i> de la procedencia San Francisco.....	40
Cuadro 12. Comparación de medias y error estándar entre tres tamaños	

	de semilla de <i>E. cyclocarpum</i> para cuatro variables.....	40
Cuadro 13.	Comparación de medias y error estándar entre tres tamaños de semilla de <i>E. cyclocarpum</i> para variables de peso seco, índice de transformación y contenido de agua.....	43
Cuadro 14.	Comparación de medias y error estándar de tres tamaños de semilla de <i>E. cyclocarpum</i> para peso seco total (PST), semilla sin testa (PSST) y contenido de agua (CA).....	44
Cuadro 15.	Correlaciones entre variables de tres tamaños de semilla y variables de plántula de <i>E. cyclocarpum</i> a tres semanas de cultivo en vivero.....	46
Cuadro 16.	Comparación de medias y error estándar para el efecto del tamaño de semilla en el tamaño de planta de <i>E. cyclocarpum</i> a tres semanas de cultivo en vivero.....	48
Cuadro 17.	Correlaciones entre variables de tres tamaños de semilla y variables de brinjal de <i>E. cyclocarpum</i> a 19 semanas de cultivo en vivero.....	51
Cuadro 18.	Comparación de medias y error estándar para el efecto del tamaño de semilla sobre el tamaño de planta de <i>E. cyclocarpum</i> a 19 semanas de cultivo en vivero.....	53
Cuadro 19.	Comparación de medias y error estándar para efecto de la procedencia sobre tres variables de planta de <i>E. cyclocarpum</i> de la Costa de Oaxaca, a tres semanas de cultivo en vivero.....	58
Cuadro 20.	Correlaciones entre variables de planta y variables geográficas en 10 procedencias de <i>E. cyclocarpum</i> en la Costa de Oaxaca a tres semanas de cultivo.....	58
Cuadro 21.	Comparación de medias y error estándar para variables de brinzales e índices de calidad de planta de 10 procedencias de <i>E. cyclocarpum</i> de la Costa de Oaxaca, a 19 semanas de	

	cultivo en vivero.....	59
Cuadro 22.	Correlaciones entre variables de planta y variables geográficas en 10 procedencias de <i>E. cyclocarpum</i> en la Costa de Oaxaca a 19 semanas de cultivo.....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Distribución de <i>E. cyclocarpum</i> en México (Modificado de Pennington y Sarukhán, 2005).....	6
Figura 2. Ubicación de las procedencias de <i>E. cyclocarpum</i> colectadas en la región Costa de Oaxaca.....	22
Figura 3. Frecuencia de tamaños (largo) de semilla de <i>E. cyclocarpum</i> de la procedencia San Francisco.....	38
Figura 4. Tasa de crecimiento relativo de brinzales de <i>E. cyclocarpum</i> a 19 semanas de cultivo en vivero.....	54
Figura 5. Crecimiento en altura total de brinzales de <i>E. cyclocarpum</i> de tres tamaños de semilla (A partir de la tercera semana después de la germinación).....	55
Figura 6. Crecimiento en diámetro al cuello de raíz de brinzales de <i>E. cyclocarpum</i> de tres tamaños de semilla.....	56
Figura 7. Crecimiento en altura de brinzales de <i>E. cyclocarpum</i> de 10 procedencias de la Costa de Oaxaca.....	63
Figura 8. Crecimiento en diámetro de brinzales de <i>E. cyclocarpum</i> de 10 procedencias de la Costa de Oaxaca.....	64

## RESUMEN

Con el objetivo de describir la variación en el tamaño y peso de semillas entre procedencias, así como evaluar el efecto del tamaño de la semilla y procedencia sobre la calidad de planta, se colectaron frutos de 10 procedencias de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. en la región Costa de Oaxaca. Las plantas fueron cultivadas durante 19 semanas utilizando un diseño de bloques completos al azar. Para la variación de semillas se realizó la comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) y se correlacionaron las variables de semilla con factores geográficos y precipitación; asimismo, para evaluar las diferencias del efecto del tamaño de semilla se empleó la comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) y las variables de semilla fueron correlacionadas con las variables de planta; el análisis estadístico para el ensayo de procedencias fue similar al anterior, sólo que en este caso se correlacionaron las variables de planta con factores geográficos y la precipitación. Todos los análisis se realizaron utilizando el programa estadístico SAS.

Con respecto a la variación en el tamaño, peso y color de la semilla, se encontró que la procedencia San Pedro posee las semillas más largas ( $18.45\pm 0.15$  mm) y pesadas ( $1.038\pm 0.016$  g), mientras que Cortijo posee las semillas más pequeñas ( $16.08\pm 0.14$  mm) y ligeras ( $0.823\pm 0.013$  g). Las semillas de Pinotepa de Don Luis fueron las más anchas ( $11.45\pm 0.08$  mm) y las de San Francisco las más angostas ( $10.75\pm 0.08$  mm); para el espesor Colotepec presentó las más gruesas ( $7.40\pm 0.06$  mm) y San Francisco las más delgadas ( $6.81\pm 0.06$  mm). El coeficiente de variación (CV) evidenció que la procedencia San Francisco para la variable largo tuvo la mayor variación (CV= 9.77) entre la semilla más grande y la más pequeña; mientras que Los Limones (CV= 6.35) tuvo las semillas más uniformes. De las variables evaluadas el peso fue el que presentó mayor variación en comparación con el resto de las variables. Asimismo, no se encontró correlación entre las variables de semilla con los factores geográficos y la

precipitación. Además se identificaron tres grupos de colores dentro y fuera del pleurograma.

Para determinar el efecto del tamaño de semilla sobre la calidad de planta se utilizó semilla de la procedencia San Francisco y se establecieron tres clases de tamaño: pequeña ( $\leq 16$  mm), mediana ( $>16$  y  $\leq 19$  mm) y grande ( $>19$  mm). A tres semanas de cultivo se encontró que existe efecto de tamaño de semilla sobre el diámetro al cuello de raíz, altura, peso seco radical, peso seco de tallo y peso seco total, siendo mejor en la mayoría de los casos la planta proveniente de la clase mediana. Sin embargo, a 19 semanas de cultivo no existe efecto del tamaño de semilla sobre el tamaño de planta. Asimismo, no se encontraron diferencias significativas en la tasa de crecimiento relativo para los tres tamaños de semilla.

La procedencia influye sobre diámetro al cuello, altura, peso seco total e índice de calidad de Dickson. Se determinó que la procedencia Tataltepec origina plantas más robustas y equilibradas (Altura=44.07 cm, ICD=0.331), mientras que con las procedencias Cortijo y La Tuza se obtienen las plantas más pequeñas (Altura= 38.62 y 37.49 cm, ICD=0.223 y 0.210, respectivamente). Asimismo, la altura, diámetro al cuello de la raíz, peso seco total e índice de calidad de Dickson están correlacionados con la longitud, latitud y precipitación; aunque éste último sólo se relacionó con la altura de la planta. Por lo anterior se recomienda que se utilicen semillas de la procedencia Tataltepec, ya que se obtienen las plantas con mejor calidad, mientras las procedencias Cortijo y la Tuza deben de utilizarse en sitios más húmedos, ya que dan origen a plantas menos equilibradas.

Palabras clave: Parota, procedencias, tamaño, índice de calidad de Dickson, tasa de crecimiento relativo.

## ABSTRACT

In order to describe the variation in the size and weight of seeds among provenance, and to evaluate the effect seed size and provenance on the plant quality. The fruits originated were from ten provenance of *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. in the Oaxaca region coast. Plants were cultivated for nineteen weeks using a completely block design in a random way. The seeds variation I made the Tukey comparison ( $\alpha=0.05$ ) and I correlated the seed variables with geographical and rainfall factors; and in order to evaluated the effect differences in seed size I used the Tukey comparison ( $\alpha=0.05$ ) and the seed variables were correlated with plant variables; the statistical analysis for the provenances essay was similar to the previous, but only in this case the plant variables were correlated with geographic and rainfall factors. All tests were performed using the SAS statistical program.

In regards to the variation of size, weight and color of seeds, I found that San Pedro has the longest ( $18.45 \pm 0.15$  mm) and heaviest ( $1,038 \pm 0,016$  g) seeds, while Cortijo has the smallest ( $16.08 \pm 0.14$  mm) and lightest ( $0.823 \pm 0.013$  g) seeds. Pinotepa de Don Luis's seeds are the widest ( $11.45 \pm 0.08$  mm) and San Francisco's seeds the narrowest ( $10.75 \pm 0.08$  mm). Colotepec presents the thickest ( $7.40 \pm 0.06$  mm) and San Francisco the thinnest ( $6.81 \pm 0.06$  mm). The variation coefficient (VC) showed that San Francisco provenance for the length variable had more variation (VC= 9.77) between the largest and the smallest seeds, while in Los Limones the seeds were the most uniform (VC= 6.35). The weight variation was broader than the other evaluated variables. However, there was no correlation between seed variables with geographical and rainfall factors. I identified three color groups inside and outside of the pleurogram.

To determine the effect of seed size on the plant quality, I used the San Francisco seeds' provenance and I determined three size classes: small ( $\leq 16$  mm), medium ( $> 16$  and  $\leq 19$  mm) and large ( $> 19$  mm). After three weeks growth, I found that seed size affected root collar diameter, height, dry root weight, dry stem weight and total dry weight, and in most cases the best plant was from the middle class. However, I did not find seed size to affect the plant size after nineteen weeks growth. Also I did not find significant differences in relative growth rate for the three seed sizes.

The provenance influences collar diameter, height, total dry weight and Dickson quality index. I determined that the Tataltepec source seeds can become the sturdiest and the most balanced plants (height= 44.07 cm, ICD= 0.331), while Cortijo and La Tuza provenance produced the smallest plants (height= 38.62 and 37.49 cm, ICD= 0.223 and 0.210, respectively). Also, height, collar diameter, dry root weight and Dickson quality index are correlated with longitude, latitude and rainfall, although the latter was only associated with plant height. Therefore I recommend the use of the Tataltepec's seeds as a ideal provenance, because plants can be obtained with the best quality, whereas the Cortijo and Tuza provenance should be used in wet areas or places because plants with less balance can be obtained.

Keywords: Parota, provenance, size, Dickson quality index, relative growth rate.

## I. INTRODUCCIÓN

Las repoblaciones forestales han sido ampliamente utilizadas para resolver problemas económicos, sociales y ambientales; ya que pueden utilizarse con fines comerciales, urbanos, agroforestales o de restauración (Rodríguez, 2008); y aunque todas presentan actividades culturales similares, difieren en los objetivos.

Desafortunadamente, muchas de las repoblaciones forestales fracasan debido a su mal manejo, condiciones ambientales desfavorables, empleo de especies inadecuadas y el uso de planta de mala calidad (UAM, 2003). Éste último, es quizá, uno de los factores determinantes para el éxito de la repoblación y que muy pocas veces es tomado en cuenta. La calidad de planta permite predecir la supervivencia y su potencial para desarrollarse rápidamente durante los primeros meses de crecimiento (Torral, 1997; Rojas, 2002).

El término calidad de planta se refiere a la producción de plantas vigorosas y que permitan obtener mayor supervivencia en campo (Thompson, 1985); está determinada por la fuente de semilla y las condiciones de manejo en vivero, tales como el envase, sustrato, fertilización, densidad y micorrizas (Torral, 1997; Valenzuela *et al.*, 2005; García, 2006).

La calidad de planta morfológica y fisiológica han sido de las más estudiadas (Domínguez *et al.*, 1997; Royo *et al.*, 1997; Villar *et al.*, 2000; Sosa y Rodríguez, 2003; Arizaleta y Pire, 2008; Viana *et al.*, 2008). Sin embargo, la mayoría de las investigaciones se han centrado en especies comerciales de clima templado o de rápido crecimiento (Domínguez *et al.*, 1997; Royo *et al.*, 1997; Lopes, 2005); mientras que para especies nativas de clima tropical con potencial económico y/o ecológico los estudios han sido menores, como es el caso de la parota (*Enterolobium cyclocarpum*.)

*E. cyclocarpum* es una especie arbórea polivalente y culturalmente muy aceptada (Pennigton y Sarukhán, 2005, Gómez *et al.*, 2006). Se recomienda su empleo en programas de restauración, enriquecimiento y restauración ecológica (Vázquez *et al.*, 1999). La extensión de plantaciones podría incrementarse, ya que la madera es muy

apreciada (Benítez *et al.*, 2004); además, en el mercado no existe una oferta constante de productos derivados de ésta especie, como ocurre con *Pinus sp.*, *Cedrela odorata* L. y *Swietenia macrophylla* King.

En la actualidad se desconocen los requerimientos necesarios para la producción de *E. cyclocarpum*; tal desconocimiento provoca que se empleen insumos inadecuados lo cual ocasiona que los costos sean elevados. Por ello, es necesario generar información para la producción de planta de calidad, con ello se podría bajar el costo y tiempo de producción de planta en vivero; además de lograr mayor supervivencia y desarrollo de las plantas en campo, lo cual beneficia a todos los productores que pretendan utilizar dicha especie.

En la presente investigación se describe y se analiza la variación de semillas entre procedencias de la Costa de Oaxaca, ya que al conocer la variación morfológica se pueden establecer estrategias de manejo relacionada con su cultivo en vivero. Asimismo, se evaluó el efecto del tamaño de semilla sobre la calidad de planta, ya que en parota el efecto aún es desconocido. Por último se analizó el efecto de la procedencia, ya que es necesario detectar de manera temprana las mejores procedencias que permitan producir las mejores plantas.

## II. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

- ❖ Determinar las diferencias en la calidad de planta en vivero de *E. cyclocarpum* por efecto de la procedencia y tamaño de semilla. Así como, describir la variación de semillas entre procedencias de la Costa de Oaxaca.

### 2.2. Objetivos específicos

- ❖ Determinar el efecto del tamaño de semilla en el tamaño y calidad de planta.
- ❖ Determinar cuáles son las procedencias que permiten obtener la mejor calidad de planta.
- ❖ Describir la variación del tamaño, peso y color de la semilla entre procedencias.

## III. HIPÓTESIS

Las semillas de *E. cyclocarpum* de mayor tamaño dan origen a plántulas más grandes y vigorosas, en comparación con semillas de menor tamaño.

No existen diferencias significativas entre procedencias en el tamaño y calidad de planta.

No existen diferencias significativas entre procedencias en las variables de tamaño, peso y color de semilla.

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb.

#### 4.1.1. Descripción botánica

En México, *E. cyclocarpum* recibe principalmente el nombre de parota o guanacastle. Son árboles que pueden alcanzar hasta 30 m de altura y 3 m de diámetro, con tronco derecho y copa más ancha que alta; la corteza es lisa a granulosa con abundantes lenticelas; la corteza interna es color crema rosado con exudado pegajoso y dulzón. Las hojas están dispuestas en espiral, bipinnadas, de 15 a 40 cm de largo incluyendo el pecíolo, cada hoja está compuesta de 5 a 10 pares de folíolos primarios, cada folíolo se compone de 15 a 35 pares de folíolos secundarios. Las flores son cabezuelas axilares, de 1.5 a 2 cm de diámetro, de color blanco a verdoso (Pennington y Sarukhán, 2005). Los frutos son vainas aplanadas y enroscadas sobre sí mismas, de color café claro (Benítez *et al.*, 2004; Pennington y Sarukhán, 2005), contienen hasta 18 semillas (Janzen, 1982), aunque el número varía según la calidad de sitio de colecta (Rocha y Aguilar, 2001), ya que se reporta que cada fruto en promedio contiene 13.3 semillas, de las cuales 1.8 resultan dañadas (Hernández *et al.*, 2001). La disminución en la cantidad de semilla por fruto se debe a la presencia de óvulos abortivos, éstos son comunes en la región distal (Janzen, 1982; Villalobos y Bianchi, 2000). El número de semillas por kilogramo varía de 900 a 1200 (Parent, 1997), aunque se ha reportado que puede haber de 1000 hasta 1800 semillas por kilogramo (Niembro *et al.*, 2004). Las semillas son ovadas y ligeramente comprimidas, miden de 15 a 25 mm de largo (Parent, 1997), por 8 a 15 mm de ancho y de 5 a 8 mm de grosor (Niembro *et al.*, 2004), y el peso varía de 0.8 a 1.1 g (Janzen, 1982). La testa está dividada por un pleurograma de forma ovada y cerrada al contorno de la semilla, cuyo color externo es castaño rojizo, mientras el color interno es castaño oscuro (Niembro *et al.*, 2004).

### 4.1.2. Fenología

Los árboles mantienen sus hojas durante casi todo el año, pero durante la floración se renueva el follaje, esto puede durar de uno a dos meses (Cuadro 1). Sin embargo, la fenología varía según las condiciones ambientales existentes en cada sitio.

Cuadro 1. Fenología reproductiva de *E. cyclocarpum* en Veracruz (Moreno *et al.*, 2009).

Época	Meses											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Floración												
Fructificación												
Maduración de frutos												
Perdida del follaje												

### 4.1.3. Ecología y distribución

En el país se distribuye en la vertiente del Golfo, desde el sur de Tamaulipas hasta la península de Yucatán y en la depresión de Chiapas; en la vertiente del Pacífico, desde Sinaloa hasta Chiapas, incluyendo la Cuenca del Balsas (Pennington y Sarukhán, 2005) (Figura 1). Se localiza desde nivel del mar hasta 1200 m (Benítez *et al.*, 2004) con temperaturas de 20.3 a 26.9 °C, precipitaciones mínimas de 860.9 mm anuales; se establece sobre distintos tipos de suelos como Cambisol, Feozem, Fluvisol, Litosol, Luvisol, Regozol, Redzina y Vertisol (Gómez *et al.*, 2006); también se desarrolla en suelos con problemas de captación de agua, zonas bajas y calientes (Gutiérrez y Dorantes, 2006); asimismo, se establecen en áreas perturbadas de selvas altas y medianas subperennifolias (Torres, 2004; Pennington y Sarukhán, 2005), en sitios bajos de selva baja caducifolia y subcaducifolia (Rocha y Aguilar, 2001). En la Costa de Oaxaca, se ha reportado en la selva alta perennifolia de Lagunas de Chacahua y La Pastoría (Flores y Manzanero, 1999), en zonas superiores a 500 m de selva mediana subcaducifolia en el distrito de Pochutla (Rodarte, 1997), en la selva

baja caducifolia de Bahías de Huatulco (Castillo *et al.*, 1997; Salas *et al.*, 2007) y Zimatán (Salas *et al.*, 2003).

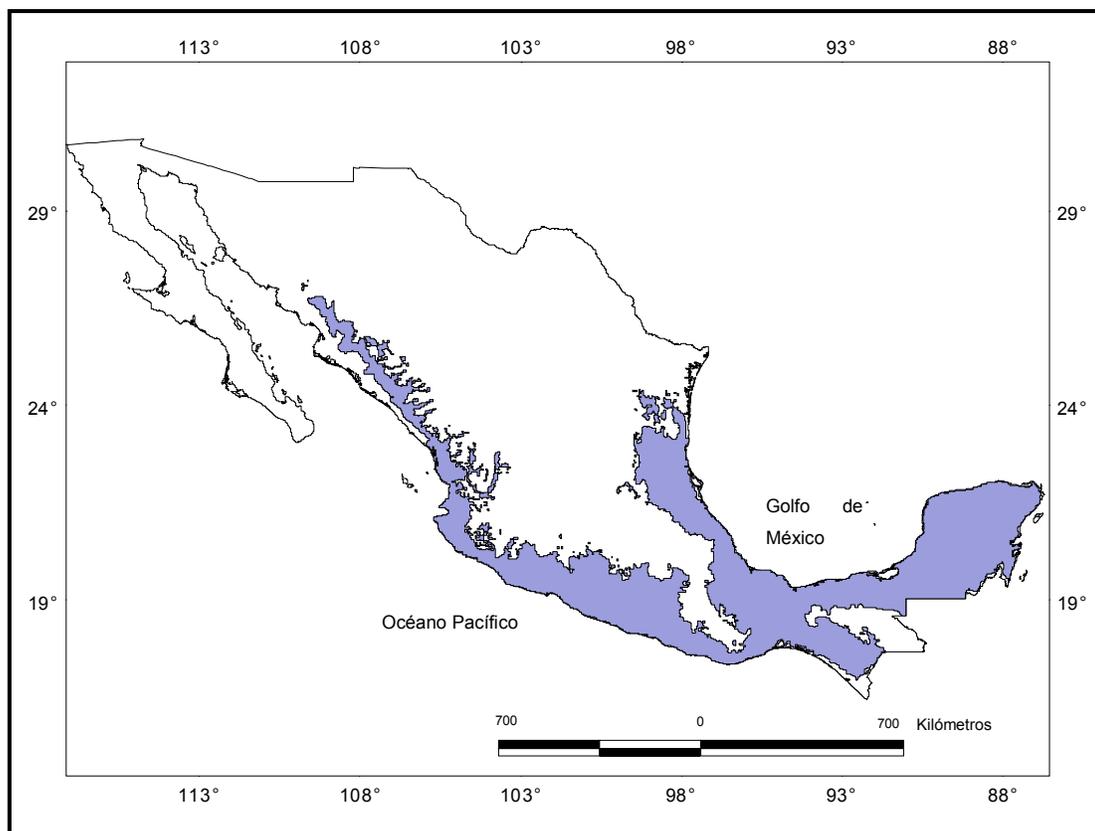


Figura 1. Distribución de *E. cyclocarpum* en México (Modificado de Pennington y Sarukhán, 2005).

#### 4.1.4. Usos

La madera es apreciada tanto en el mercado local como en la industria, en la primera se emplea para obtener tablas y vigas para construcciones rurales, bateas, canoas y ruedas de carreta; mientras que en la industria de aserrio es utilizada para la fabricación de duelas, lambrines (Pennington y Sarukhán, 2005) y chapas (Zavala y Trujillo, 1993). La especie se utiliza como cerca viva, alimento y sombra para ganado (Avendaño y Acosta, 2000; Gómez *et al.*, 2006). Debido a la asociación simbiótica con la micorriza *Glomus aggregatum* Schenck y Smith, se utiliza para mejorar y restaurar suelos (Vázquez *et al.*, 1999). Las semillas podrían emplearse como suplemento

alimenticio para humanos y animales, sin representar riesgo alguno para la salud (Serratos *et al.*, 2008). Los taninos de los frutos y corteza se usan para elaborar jabones; los extractos de la corteza pueden emplearse contra resfriados y bronquitis (Hughes y Stewart, 1990).

#### 4.1.5. Plagas y enfermedades

Los estudios sobre plagas y enfermedades de *E. cyclocarpum* aún son escasos. Sin embargo, algunos reportes indican que la especie puede ser atacada en todos sus estadios fenológicos; las flores son afectadas por *Asphondylia enterolobii* Gagné, mosca causante de agallas (Janzen, 1982); mientras que cuando las semillas han caído al suelo son ovipositadas por el bruchido *Stator generalis* Johnson & Kingsolver (Johnson, 1984; Johnson y Siemes, 1995). El hongo *Fusarium oxysporum* var. *perniciosum* (Heptin) Toole, provoca una exudación copiosa de color amarillo en las fisuras de la corteza de troncos o ramas infectadas (Martorell, 1953; citado por Francis, 1988).

En vivero no se presentan serios problemas por plagas y enfermedades (Benítez *et al.*, 2004). Sin embargo, el hongo *Ravenelia lagerheimiana* Diet. ataca plántulas y provoca la pérdida de la yema principal y la generación de brotes laterales débiles (Sáenz y Fournier, 1982).

#### 4.1.6. Manejo y aprovechamiento

a) Manejo en vivero. Las semillas pueden mantenerse viables por más tiempo si se almacenan en seco o frío, aunque previamente es necesario tratarlas con bisulfuro de carbono (Parent, 1997). En la actualidad se desconocen los requerimientos necesarios para la producción de planta en vivero. No obstante, algunos trabajos reportan que la escarificación de la semilla acelera y uniformiza la germinación; por ejemplo, con la inmersión de éstas en ácido sulfúrico por 50 minutos se logra el 80% de germinación en los primeros 12 días (Somarriba y Ferreiro, 1984). Por otro lado, la escarificación mecánica permite obtener 100% de germinación en tres días (Vázquez y

Pérez, 1977), pero cuando se manejan grandes cantidades de semillas este tratamiento se vuelve complicado, por ello se recomienda la inmersión en ácido sulfúrico por 35 minutos, ya que el porcentaje de germinación no difiere estadísticamente de la escarificación mecánica (Hernández *et al.*, 2001). El almácigo puede estar conformado por una mezcla de tierra negra, arena y abono orgánico; una vez transplantados los brinzales pueden permanecer durante siete meses en vivero (Benítez *et al.*, 2004). En la producción de planta se han encontrado diferencias entre la producción a raíz desnuda y en bolsas de polietileno, obteniendo mejores resultados con esta última (Di Stefano y Fournier, 1999).

b) Manejo y aprovechamiento en campo. El manejo de la especie ha sido de forma tradicional, es decir, se tolera y fomenta en potreros como árbol de sombra y forraje para animales. Sin embargo, a pesar del potencial económico y ecológico que posee, se han establecido escasas o nulas plantaciones con fines industriales, de restauración o como banco de proteínas. Francis (1999) reporta crecimientos aceptables de 1 a 1.5 m de altura y de 2 a 3 cm de diámetro por año para Puerto Rico. En México, las experiencias son escasas, en el estado de Veracruz el manejo tradicional permite el aprovechamiento de árboles de 20 años de edad con 120 cm de diámetro y 15 m de altura (Gutiérrez y Dorantes, 2006). Además, con base en un análisis edafoclimático se han determinado áreas potenciales para el establecimiento de sistemas silvopastoriles en Chiapas (Gómez *et al.*, 2006). En un estudio realizado por Martínez (2001) se encontró que esta especie a ocho meses presenta mayor crecimiento en comparación con *Brosimum alicastrum* Sw., *Callophylum brasiliense* Cambess, *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn., *Colubrina arborescens* (Miller) Sarg., *Diphysa americana* (Mill.) M. Sousa, *Pimenta dioica* (L.) Merrill, *Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn, *Tabebuia rosea* (Bertol) DC y *T. chrysantha* (Jacq.) Nichols.; además, el mayor crecimiento ocurre durante la temporada de lluvias, por lo cual su establecimiento en campo debe de estar en función de la estación lluviosa.

En el trópico mexicano, el guanacastle (*E. cyclocarpum*) se recomienda para utilizarse en programas de reforestación, enriquecimiento y restauración ecológica

(Niembro *et al.*, 2004). En Tabasco se ha encontrado que la parota presenta una supervivencia mayor al 40%, aunque depende de las condiciones de plantación (acahuales o pastizales) y puede ser o no fertilizada (Martínez, 2001). En reforestaciones de dunas costeras en Veracruz se ha evidenciado la necesidad de sombra en sus primeros estadios, ya que la supervivencia a cuatro meses en condiciones de luz es del 32%, mientras en sombra es del 70% (Moreno *et al.*, 2009).

#### **4.2. El éxito de la repoblación forestal**

Se le denomina repoblación forestal a la creación de cubierta forestal en sitios donde ya había o no (García, 2002), ésta puede establecerse mediante el trasplante o la siembra directa de la especie en campo (Serrada *et al.*, 2005), aunque depende de los recursos disponibles y condiciones del sitio. Existen diversos tipos de repoblación forestal, tales como de restauración, comerciales, urbanas y agroforestales (Rodríguez, 2008). Éstas tienen actividades similares, pero difieren en los objetivos y en las condiciones ambientales en las cuales se establecen, por ello el tipo de planta o semilla es distinta para cada una.

La repoblación se considera exitosa cuando se logra el máximo número de plantas arraigadas (García, 2002) con crecimiento óptimo en determinado tiempo (Toral, 1997). Al utilizar plantas producidas en vivero, el éxito de la repoblación dependerá de las características fisiológicas y morfológicas de los brinzales (calidad de planta); además, de la selección adecuada de especies y procedencias, transporte y acarreo cuidadoso de las plantas al sitio de plantación, preparación del terreno, plantación correcta, manejo, protección, y factores microclimáticos (Toral, 1997; Birchler *et al.*, 1998; Rodríguez, 2008). La calidad de planta es un factor determinante para el éxito de la repoblación forestal, su importancia radica en la posibilidad de predecir la supervivencia de la misma y su potencial para desarrollarse rápidamente durante los primeros meses o años de crecimiento después de la plantación (Toral, 1997; Rojas, 2002).

### 4.3. Calidad de planta

En 1979 la Unión Internacional de Organizaciones de Investigación Forestal (IUFRO) definió el término calidad de planta en vivero como el grado con el cual cumple con los objetivos de su utilización con el mismo costo (García, 2002); es decir, la producción de plántulas con el mejor crecimiento, manteniendo al mismo tiempo el balance entre tallo y raíz que permitan la supervivencia de la misma en campo (Thompson, 1985). Sin embargo, la calidad de planta es relativa (Serrada *et al.*, 2005), ya que depende del material genético y de las prácticas de cultivo en vivero (Torral, 1997; Rojas, 2002; Valenzuela *et al.*, 2005; García, 2006) haciendo posible definir diferentes tipos de calidad de planta.

#### 4.3.1. Tipos de calidad de planta

En la actualidad se reconocen cuatro tipos de calidad de planta, las cuales son: genética, biológica, fisiológica y morfológica (Serrada *et al.*, 2005).

a) Calidad genética. Se refiere a la procedencia de la semilla, debido a que ésta debe de contribuir a generar árboles con características deseables (fenotipo), las cuales a su vez sean heredables (genotipo) (Quiroz *et al.*, 2001). El éxito en la producción de planta de buena calidad genética depende de la experiencia para coleccionar semilla de rodales seleccionados.

b) Calidad biológica. Se busca obtener plantas libres de parásitos, pero a su vez que la planta se encuentre asociada con simbiosis (Serrada *et al.*, 2005) que le permitan establecerse en campo.

c) Calidad fisiológica. Este tipo de calidad se refiere al estado nutricional e hídrico, capacidad de formación de raíces y resistencia a diversos fenómenos meteorológicos (García, 2006; Rodríguez, 2008), que permiten el establecimiento de la planta en campo.

d) Calidad morfológica. Es la respuesta fisiológica de la planta a condiciones ambientales y a las prácticas de vivero (Birchler *et al.*, 1998).

### 4.3.2. Indicadores de calidad de planta

La calidad de planta morfológica y fisiológica se han estudiado ampliamente (Domínguez *et al.*, 1997; Royo *et al.*, 1997; Villar *et al.*, 2000; Villar *et al.*, 2001; Prieto *et al.*, 2002; Arteaga *et al.*, 2003; Sosa y Rodríguez, 2003; Lopes, 2005; Reyes *et al.*, 2005; Arizaleta y Pire, 2008; Viana *et al.*, 2008).

Para determinar la calidad morfológica, se usan variables de tipo cuantitativo y cualitativo. Las variables de tipo cuantitativo son la altura, diámetro del cuello, pares de hojas, biomasa aérea, biomasa de raíces, forma y desarrollo radicular, y consistencia del cepellón (Thompson, 1985; Birchler *et al.*, 1998; Quiroz *et al.*, 2001; García, 2006); mientras que las variables cualitativas se basan en el aspecto y desarrollo de la planta, algunas de ellas son la capacidad de colonización del cepellón, color de raíces, presencia o ausencia de raíz principal, cantidad de raíces secundarias y raíces suculentas (Thompson, 1985; Domínguez *et al.*, 2001).

La magnitud de las variables es difícil de interpretar y en ocasiones resulta engañoso, por ello se han desarrollado diferentes coeficientes o índices (Dickson *et al.*, 1960; Thompson, 1985) que permiten evaluar y determinar la calidad de planta (Cuadro 2). Dichos índices han dado la pauta para que se establezcan estándares de producción de planta en vivero, los cuales variaran de acuerdo a la especie (Quiroz *et al.*, 2001).

Para determinar la calidad fisiológica también se han establecido variables tales como potencial hídrico, capacidad para formar raíces, nutrientes, carbohidratos, tensión (Toral, 1997; Birchler *et al.*, 1998; Domínguez *et al.*, 2001; García, 2006), diacetato de fluoresceína, fluorescencia de la clorofila, concentración de clorofila, tasa fotosintética, conductancia estomatal, dormancia de la yema, emisiones volátiles inducidas por estrés, cloruro de trifenil tetrazolio, termografía infrarroja, resonancia magnética nuclear y conductividad de electrolitos (Rodríguez, 2008).

Cuadro 2. Índices para determinar calidad de planta en vivero.

Índice	Objetivo	Ecuación	Autor
Área foliar específica	Determinar la capacidad de producción de carbohidratos	$AFE = \frac{\text{Área foliar (mm}^2\text{)}}{\text{Peso de follaje (g)}}$	Toral (1997)
Proporción altura/raíz <sup>§</sup>	Predecir la supervivencia en campo	$PAR = \frac{\text{Peso aéreo (g)}}{\text{Peso radicular (g)}}$	Herman (1964, citado por Thompson, 1985)
Esbeltez <sup>§</sup>	Predecir la supervivencia y crecimiento en campo de la planta	$IE = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}}$	Roller (1977, citado por Thompson, 1985)
Índice de calidad de Dickson <sup>¥</sup>	Distinguir plantas idóneas para plantarse en campo	$ICD = \frac{\text{Peso total (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} + \frac{\text{Peso aéreo (g)}}{\text{Peso radical (g)}}}$	Dickson <i>et al.</i> (1960)

<sup>§</sup>Valores bajos indica mejor calidad de planta. <sup>¥</sup>Valores cercanos a la unidad indican mejor calidad de planta.

Los índices o pruebas para determinar la calidad de planta fisiológica son el contenido de nutrientes al final de cultivo (Domínguez *et al.*, 2001), índice de tensión al transplante y prueba de vigor (Rodríguez, 2008).

En ocasiones los atributos fisiológicos en comparación con los atributos morfológicos permiten predecir mejor la supervivencia y crecimiento de la planta en campo (Toral, 1997); ambos atributos no necesariamente están correlacionados, ya que en ocasiones existen diferencias en el estado nutricional entre plantas de una misma clase producidas en diferentes viveros (García, 2006).

#### **4.3.3. Factores que influyen en la calidad de planta**

Las diferencias en calidad morfológica o fisiológica que existe de un vivero a otro, se deben a la manipulación según los objetivos, experiencia e insumos disponibles. Los factores y operaciones que influyen en la calidad de planta en vivero son el tamaño de bolsa o contenedor, densidad de siembra en almácigo, transplante, tipo de sustrato, riegos, fertilización, micorrizas, temperatura, luz, remociones y podas de raíz, cuidados contra plagas y enfermedades, adecuada fase de endurecimiento (Rodríguez, 2008) y el germoplasma (Rojas, 2002).

a) Contenedor o envase. Los envases utilizados para producir planta pueden ser de paredes permeables o rígidas. Las ventajas y desventajas de cada uno han sido ampliamente discutidas (Gopakumar y Gopikumar, 1993; Domínguez, 1997; Domínguez *et al.*, 1997; Toral *et al.*, 2000; Viana *et al.*, 2008). En la actualidad, se emplean más los de paredes rígidas, éstos a su vez pueden ser bolsas de polietileno o contenedores; el uso de uno u otro depende del recurso económico, material biológico (semilla ó estaca) y especie (Ruano, 2003). Las deformaciones radiculares que provocan las bolsas de polietileno han causado que se incremente el uso de contenedores (Domínguez, 1997), ya que su tecnología evita el enrollamiento de raíz (Ruano, 2003). El envase se elige en función de la densidad de cultivo, tamaño de planta deseado, sustrato, condiciones ambientales, tiempo de cultivo (Domínguez,

1997; Toral, 1997; Ruano 2003) y del ritmo de crecimiento de la especie (Viana *et al.*, 2008).

b) Sustrato. El sustrato da soporte físico para el crecimiento y desarrollo de la planta. El éxito de la producción de planta en envase depende del sustrato (Ruano, 2003), éste a su vez puede ser orgánico e inorgánico; los sustratos orgánicos están conformados por mezclas de turba (turba rubia y turba negra), corteza (Toral, 1997), tierra de monte y hoja de encino (Arteaga *et al.*, 2003); en cambio, la vermiculita, la perlita y la arena pertenecen a los sustratos inorgánicos (Ruano, 2003; Valenzuela *et al.*, 2005).

El tipo y mezcla de sustrato debe ser cuidadosamente elegido, ya que diferentes proporciones de los componentes de un mismo sustrato repercuten en el porcentaje y velocidad de germinación de la semilla (Aparicio *et al.*, 1999) así como en el incremento en diámetro, altura y biomasa de los brinzales (Arteaga *et al.*, 2003), lo cual se refleja en la calidad de planta (Arteaga *et al.*, 2003; Valenzuela *et al.*, 2005). Se recomienda un sustrato con pH ligeramente ácido, alta capacidad de intercambio catiónico, alta porosidad de aireación, buena retención de agua, baja fertilidad intrínseca (Peñuelas y Cardeso, 1993; Toral *et al.*, 2000; Ruano, 2003), estabilidad química y bajo costo (Toral, 1997).

c) Fertilización. La aplicación de fertilizantes es una práctica común en los viveros, debido a los nutrientes que adicionan al sustrato, existen diferencias entre plantas fertilizadas y sin fertilizar (Ocaña *et al.*, 1997; Villar *et al.*, 2001; Mema *et al.*, 2003). Pueden aplicarse de forma líquida (foliar) o sólida (liberación lenta), en dosis bajas o altas (Villar *et al.*, 2001), de manera convencional o exponencial (Carrasco *et al.*, 2001), su uso depende del sistema de producción utilizado y de la especie (Krause, 2005; Arizaleta y Pire, 2008).

La fertilización determina el crecimiento de la planta en la fase de vivero (Arteaga y Zenil, 2005; Arizaleta y Pire, 2008) y campo (Villar *et al.*, 2001; Schinelli, 2005); en ambas fases, variables como altura, diámetro y biomasa son afectadas según la combinación de nutrientes esenciales (Kannan y Paliwal, 1995). La influencia de la

fertilización sobre la supervivencia aún no es clara (Ocaña *et al.*, 1997), en algunas especies como *Pinus pinea* L. se ha demostrado que brinzales grandes y con buen estado nutrimental presentan mayor supervivencia en campo (Villar *et al.*, 2000).

Las dosis de fertilización no son universales, deben estar en función de los requerimientos fisiológicos de la planta en cada fase (Ocaña *et al.*, 1997). En la primera fase (crecimiento inicial) se debe suministrar un alto contenido de P, en la segunda fase (crecimiento rápido) se incrementa N y K, y en la tercera fase (lignificación) es necesario incorporar más P y K (Toral *et al.*, 2000; Schinelli, 2005). Por ejemplo, para *Pinus engelmannii* Carr. se ha demostrado que la aplicación del fertilizante Peter Professional<sup>®</sup> durante cinco meses y medio, con dosis 50:125:101, 100:15:79 y 40:109:290 ppm de N-P-K en la etapa inicial, crecimiento rápido y lignificación, respectivamente, permite la obtención de planta de buena calidad (Prieto *et al.*, 2002). Aunque en ocasiones en algunas especies no existen diferencias entre dosis de fertilizantes, como ocurre en *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* L., provocado por el tamaño de semilla (Ocaña *et al.*, 1997) o porque el sustrato provee los nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta, como es el caso de *Coffea arabica* L. ‘Caturra’ (Arizaleta y Pire, 2008).

d) Características de la semilla. La luz, temperatura, humedad, predación, tamaño de semilla, procedencia y dormancia influyen en la velocidad y porcentaje de germinación que se obtiene en vivero (Khurana y Singh, 2001; Reyes y Rodríguez, 2005).

#### **4.4. Relación semilla-planta**

La variación del tamaño y peso de semilla entre y dentro de especies ha sido ampliamente documentada (Phillips, 1989; Zhang y Maun, 1991; Agboola, 1996; Moegenburg, 1996; Burslem y Miller, 2001; Iglesias y Alba, 2004) y se ha relacionado con la permanencia de las mismas en su ambiente (Khurana y Singh, 2000; Shankar, 2006; Mandal *et al.*, 2008). Dentro de una misma especie, el tamaño y peso de semilla está determinado por el número de semillas por fruto (Khan *et al.*, 2002;

Arunachalam *et al.*, 2003), su posición dentro del mismo (Phillips, 1989; Mendizabal *et al.*, 2006) y la posición del fruto en el árbol (Khan *et al.*, 2002; Arteaga, 2007). La variación del tamaño y peso de la semilla entre procedencias ha sido poco documentado, y la mayoría de ellos se ha centrado en especies de clima templado (Méndez *et al.*, 2001; Ramos *et al.*, 2003; Márquez *et al.*, 2005; Mamo *et al.*, 2006; Santelices *et al.*, 2009).

En diversas especies se ha estudiado la relación entre el tamaño y peso de semilla con el tamaño de planta en *Theobroma cacao* L. (Phillips, 1989), *Terminalia ivorensis* A. Chev., *T. superba* Engl. & Diles, *Gmelina arborea* Roxb. (Agboola, 1996), *Pinus pinaster* Ait, *P. silvestris* L. (Ocaña *et al.*, 1997), *Quercus rugosa* Née, *Q. laurina* Humb. et Bonpl. (Bonfil, 1998), *Chrysophyllum* sp. (Green, 1999), *Tectona grandis* L. (Indira *et al.*, 2000), *Albizia procera* (Roxb.) Benth (Khurana y Singh, 2000), *Azalia africana* Sm., *Milicia excelsa* (Welw) C. C. Berg., *Pericopsis elata* (Harms) Van Meeuwen (Burslem y Miller, 2001), *Santalum album* Linn (Manonmani y Vanangamudi, 2002), *Mesua ferrea* L. (Arunachalam *et al.*, 2003), *Ziziphus mistol* Grisebach (Aráoz *et al.*, 2004), *Nolina parviflora* (H.B.K.) Hemsl. (Reyes y Rodríguez, 2005), *Dipterocarpus macrocarpus* Vesque (Shankar, 2006), *Cecropia obtusifolia* Bertol (Tenorio *et al.*, 2008) e *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. (Mandal *et al.*, 2008). En estos estudios se han establecido distintas clases de tamaño (e.g. pequeña, mediana y grande) con las variables largo, ancho, diámetro, espesor y peso de semilla. La amplitud y número de clases se establece según la variación de la variable de interés (Agboola, 1996).

La variación intraespecífica del tamaño y peso de semilla puede tener efecto sobre la germinación (Mandal *et al.*, 2008), tolerancia a sequía (Hendrix *et al.*, 1991; Khurana y Singh, 2000) y herbivoría (Bonfil, 1998). Por lo general las semillas grandes presentan mayor porcentaje de germinación en comparación con las pequeñas (Roy *et al.*, 1996, Arunachalam *et al.*, 2003; Upadhaya *et al.*, 2007, Mandal *et al.*, 2008). Asimismo, las semillas pequeñas germinan más rápido que las semillas grandes

(Upadhaya *et al.*, 2007), ya que a mayor diámetro y peso es necesario más tiempo para germinar (Shankar, 2006).

El tamaño de semilla se ha relacionado con el tamaño del embrión (Hendrix *et al.*, 1991) y las reservas nutricionales (Willan, 1991), lo cual puede reflejarse en el tamaño de planta. En el caso de *Quercus rugosa* y *Q. laurina* el peso seco, altura y longitud de raíces está determinado por el tamaño de la semilla (Bonfil, 1998). Sin embargo, existen especies en las cuales el tamaño de semilla no influye en la germinación; por ejemplo, en *Nolina parviflora* el tamaño de semilla no influye en el porcentaje de germinación y en la energía germinativa, aunque se vuelve importante cuando existen variaciones de luz y temperatura (Reyes y Rodríguez, 2005). Seleccionar germoplasma implica esfuerzo, recurso y tiempo para realizarlo, por ello es necesario conocer los beneficios que se obtienen. Los estudios sobre el efecto de tamaño de semilla sobre la calidad de planta son escasos.

En *Theobroma cacao* se evaluó el efecto de la posición de la semilla dentro del fruto sobre el crecimiento en diámetro y altura de plántulas. Se encontró que las semillas pequeñas se desarrollan en la región distal del fruto, mientras en la región proximal y media se forman semillas más grandes. Sin embargo, el tamaño de semilla no influye sobre el tamaño de planta al final del cultivo (Phillips, 1989).

Las semillas de *Tectona grandis* fueron agrupadas en cuatro clases (6-9, 9-12, 12-15 y 15-18 mm), se encontró que las semillas pequeñas (6 a 9 mm) presentaron el porcentaje más bajo de germinación y la menor cantidad de plántulas en comparación con las clases restantes; pero entre estas últimas no existieron diferencias. También se determinó que el tamaño de semilla no influye en el crecimiento de la planta, excepto para las semillas pequeñas (Indira *et al.*, 2000).

Con base al peso, se establecieron clases de tamaño en semillas de *Azelia africana* y *Pericopsis elata*. Se encontró que el efecto del tamaño de semilla sobre la germinación es relativo y el porcentaje de germinación es mayor comparado con las semillas grandes; en cambio, para *P. elata* el tiempo de germinación no está influenciado por el tamaño de semilla, pero el porcentaje de germinación es mayor en

semillas grandes. Para la tasa de crecimiento relativo en *P. elata* no hubo diferencias entre tamaños, mientras que en *A. africana* las semillas grandes mostraron mayor crecimiento en comparación con las semillas chicas (Burslem y Miller, 2001).

En *Santalum album* se recomienda la colecta y uso de semillas grandes, ya que se obtiene el porcentaje máximo de germinación y además las plántulas obtenidas son más vigorosas, debido al contenido de reservas nutricionales (Manonmani y Vanangamudi, 2002).

#### **4.5. Implicaciones de la procedencia**

Las variaciones presentes en los árboles son el resultado del ambiente en el que crecen, las diferencias genéticas entre ellos y la interacción del genotipo con el ambiente (Zobel y Talbert, 1992). Tales variaciones son importantes desde el punto de vista económico y ecológico, ya que pueden repercutir en la supervivencia y en el éxito reproductivo de los árboles (Johnsen y Major, 1997).

Una procedencia se define como el lugar determinado donde se encuentra una población de árboles (Ruano, 2003) o bien se refiere al área original de la cual se obtiene la semilla u otros propágulos (Johnsen y Major, 1997). Los ensayos de procedencias son importantes cuando se requiere seleccionar germoplasma para la preservación de un recurso o para su inclusión dentro de un proceso productivo (Brizuela *et al.*, 2000), ya que permiten utilizar procedencias correctas de semilla con buena adaptabilidad al clima, altitud, suelo y otros factores (Zobel y Talbert, 1992).

Los ensayos de procedencias y progenies son los soportes principales de los programas de mejoramiento genético forestal en todo el mundo (Johnsen y Major, 1997), y están basados en la variación genética dentro de especies, entre y dentro de poblaciones (Furnier, 1997). Estos ensayos se pueden realizar a nivel de vivero o campo (Ortega *et al.*, 2003; Zitácuaro y Aparicio, 2004; Aldrete *et al.*, 2005; Alba *et al.*, 2006), en donde el objetivo principal es evaluar el crecimiento y la supervivencia de la especie, o bien realizar una caracterización morfológica que permita comprender el comportamiento de la especie ante distintas condiciones ambientales (Brizuela *et*

*al.*, 2000). Aunque en ocasiones se realizan ensayos de procedencias con la finalidad de encontrar aquellas que presenten la mayor resistencia a plagas (Caffarini *et al.*, 2006) u otros factores.

#### **4.5.1. Relación de la procedencia y la calidad de planta**

En México la mayoría de los ensayos de procedencias se han realizado en especies de rápido crecimiento, como *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., *E. tereticornis* Smith, *E. urophylla* S. T. Blake, y *Gmelina arborea* (Seppänen *et al.*, 1999), o en coníferas (Alía *et al.*, 2001; Alba *et al.*, 2002; Ortega *et al.*, 2003; Aldrete *et al.*, 2005; Alba *et al.*, 2006). Asimismo, se han establecido algunos ensayos con especies tropicales, tales como *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth, *A. mangium* Willd., *Paraserianthes falcataria* (L.) I. C. Nielsen (Jeungjing), *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit. y *Sesbania sesban* (L.) Merrill., sin embargo, no han tenido mucho éxito por la susceptibilidad a plagas y/o enfermedades y ramificación temprana (Seppänen *et al.*, 1999). La mayor parte de los estudios anteriores se han realizado en campo, y muy pocos han sido los que ejecutan a nivel de vivero.

Los ensayos de procedencias en vivero permiten correlacionar el crecimiento en vivero con patrones de desarrollo tardío, las cuales a su vez permiten utilizar criterios para realizar selecciones tempranas y no esperar toda la vida útil de la especie (Alba *et al.*, 1996 citado por Ramírez *et al.*, 2001). Además, el comportamiento en el crecimiento y supervivencia de la procedencia puede mantenerse hasta la etapa de plantación (Ramírez *et al.*, 2001; Alba *et al.*, 2002).

Los estudios realizados en vivero han obtenido resultados alentadores para la selección temprana de procedencias. Al evaluar tres procedencias de *Pinus teocote* Schlecht & Cham., se encontró efecto de la procedencia hasta los 7 y 11 meses para altura y diámetro, respectivamente. Asimismo, existieron diferencias en la germinación, número y longitud de hojas cotiledonares (Ramírez *et al.*, 2001).

Con base en tres procedencias de *Pinus oaxacana* Mirov, se encontraron diferencias en la germinación y crecimiento juvenil (en diámetro y altura) de las plántulas (Alba *et al.*, 2003).

Entre localidades de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, se encontraron diferencias en la germinación, altura del hipocótilo y altura total (Juárez *et al.*, 2006).

En *Pinus greggii* Engelm. ex Parl., se ha encontrado que las procedencias del norte de México emergen más rápido en comparación con las del sur. A pesar de las diferencias en la altura de la planta, las procedencias del norte dan origen a plantas más equilibradas; lo cual es importante en el establecimiento de plantaciones (Aldrete *et al.*, 2005).

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Procedencias y colecta de frutos

En la región Costa de Oaxaca se seleccionaron 10 procedencias de *Enterolobium cyclocarpum*, las cuales estuvieron delimitadas por barreras geográficas (montañas y cuerpos de agua). La distribución y nombres de las procedencias se muestran en la figura 2 y cuadro 3.

Las vainas fueron colectadas de marzo a mayo de 2008; en cada procedencia se identificaron de 6 a 12 árboles de fenotipo superior (fuste recto >2 m de altura, libre de plagas y enfermedades, y con buena producción de frutos). Se midió el diámetro normal (1.30 m), altura de fuste limpio, altura total y diámetro de copa. No se consideraron árboles ubicados en el límite de procedencias.

Los frutos maduros fueron colectados del árbol y del suelo, cuando éstos se tomaban del suelo se cuidó que correspondieran al árbol elegido; asimismo, se evitaron aquellos dañados por plaga. Las semillas fueron extraídas de las vainas de forma manual, se eliminaron impurezas, se etiquetaron por procedencia (Fernández y Almora, 1989) y fueron almacenadas a temperatura ambiente en bolsas de polietileno negro (Camacho, 1994).

### 5.2. Variación de semillas entre procedencias

Para determinar la variabilidad de semillas entre procedencias de parota, se tomaron cuatro replicas de 100 semillas por procedencia; con vernier digital (Precisión 0.01 mm, marca Mitutoyo<sup>®</sup>, modelo CD-6" PM) se midió el largo, ancho y espesor, y el peso se obtuvo con balanza analítica (Precisión 0.001 mg, marca Scientech<sup>®</sup> modelo SA 210); asimismo, a cada semilla se le determinó el color interno (dentro del pleurograma) y color externo (fuera del pleurograma), para ello se utilizaron las tablas de colores de la Royal Horticultural Society (2007) y de Munsell (2002), respectivamente.

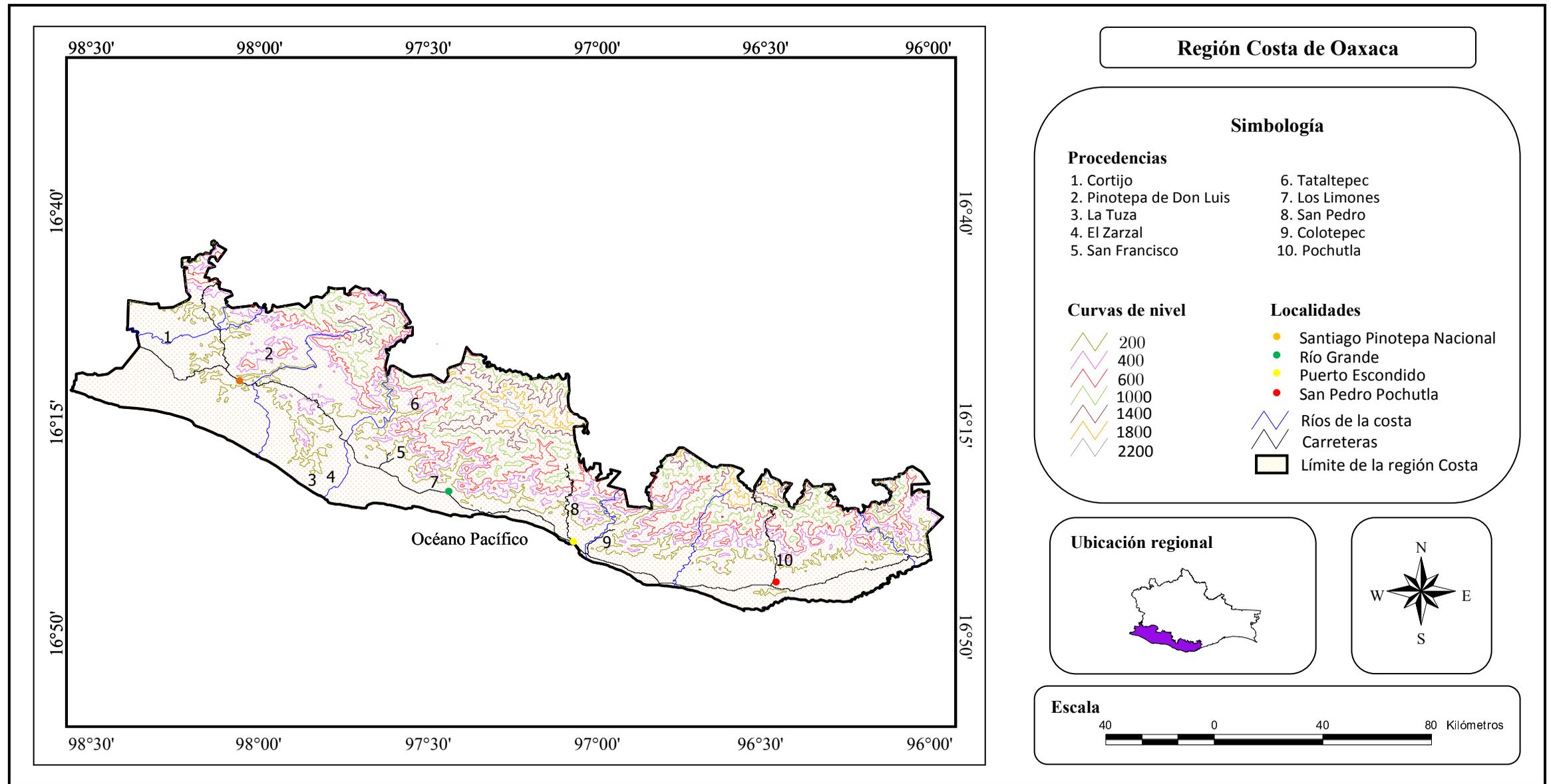


Figura 2. Ubicación de las procedencias de *E. cyclocarpum* colectadas en la región Costa de Oaxaca.

Cuadro 3. Localización y características de las procedencias de *E. cyclocarpum* colectadas en la región Costa de Oaxaca, utilizadas en el ensayo de calidad de planta.

Procedencia	Localidad	Municipio	Lon W <sup>†</sup>	Lat N	Altitud	Condición <sup>§</sup>
Cortijo	Santa María Cortijo	Santa María Cortijo	98° 16'	16° 27'	59	P
Pinotepa de Don Luis	Pinotepa de Don Luis	Pinotepa de Don Luis	97° 58'	16° 26'	420	P
La Tuza	La Tuza de Monroy	Santiago Jamiltepec	97° 51'	16° 02'	15	SMC, P
El Zarzal	El Zarzal	Santiago Jamiltepec	97° 47'	16° 04'	14	P
San Francisco	San Francisco de Arriba	Villa de Tututepec de Melchor Ocampo	97° 34'	16° 08'	67	C
Tataltepec	Tataltepec de Valdés	Tataltepec de Valdés	97° 32'	16° 17'	370	P
Los Limones	Los Limones	Villa de Tututepec de Melchor Ocampo	97° 29'	16° 01'	23	P
San Pedro	San Pedro Mixtepec	San Pedro Mixtepec	97° 04'	15° 58'	240	U
Colotepec	Santa María Colotepec	Santa María Colotepec	96° 58'	15° 53'	37	C
Pochutla	San Pedro Pochutla	San Pedro Pochutla	96° 27'	15° 49'	234	SBC, C

<sup>†</sup>Las coordenadas geográficas fueron obtenidas con un sistema de posicionamiento global calibrado a  $\pm 5$  m. <sup>§</sup>P= Potrero, SMC= Selva mediana caducifolia, C= Zona de cultivo, U= Zona urbana, SBC= Selva baja caudifolia.

Cuadro 3. (Continuación...).

Procedencia	Clima <sup>‡</sup>	Suelo <sup>‡</sup>	Precipitación <sup>‡</sup>	Número de árboles	Altura total (m) <sup>£</sup>	Altura de fuste limpio <sup>£</sup> (m)	Diámetro normal <sup>£</sup> (cm)	Diámetro de copa <sup>£</sup> (m)
Cortijo	Aw <sub>1</sub> (w)	Lc+Be+Hh/2	1000-1200	12	22.65	4.09	110.62	27.56
Pinotepa de Don Luis	Aw <sub>2</sub> (w)	Be+ Re+ Bc/2	1200-1500	10	24.84	5.35	98.64	22.05
La Tuza	Aw <sub>0</sub> (w)	Re+ Be+Hh/2	1000-1200	9	20.96	3.82	118.04	23.12
El Zarzal	Aw <sub>0</sub> (w)	Re+ Be+Hh/2	1000-1200	10	18.60	2.77	105.70	24.65
San Francisco	Aw <sub>1</sub> (w)	Be+Hh/2	1000-1200	10	19.30	3.00	103.00	22.24
Tataltepec	Aw <sub>2</sub> (w)	Re+Be/1L	1200-1500	10	22.00	2.90	110.00	24.30
Los Limones	Aw <sub>0</sub> (w)	Hh+Be/L	800-1000	7	20.00	2.90	103.00	21.34
San Pedro	Aw <sub>0</sub> (w)	Re+I+Be/1L	800-1000	10	21.00	2.40	120.00	21.34
Colotepec	Aw <sub>0</sub> (w)	Re+Be/1L	800-1000	10	21.00	2.60	104.94	23.80
Pochutla	Aw <sub>0</sub> (w)	Re+I/1L	800-1000	12	25.50	3.30	108.70	26.35

<sup>‡</sup>INEGI (2002). Aw<sub>0</sub>(w)= Cálido subhúmedo, menos húmedo, Aw<sub>1</sub>(w)= Cálido subhúmedo, intermedio; Aw<sub>2</sub>(w)= Cálido subhúmedo, más húmedo. Be= Cambisol éutrico, Hh= Feozem háplico, I= Litosol, Lc= Luvisol crómico, y Re= Regozol éutrico. <sup>£</sup>Valores promedio de las variables evaluadas.

### 5.2.1. Análisis estadístico

Para evidenciar diferencias entre procedencias de las variables medidas, se utilizó el análisis de varianza y la comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) empleando el procedimiento PROC GLM del programa estadístico SAS versión 9.0 (SAS, 2002). En el caso del color interno y externo, sólo se utilizó la moda. Asimismo, con el coeficiente de correlación de Pearson ( $\alpha=0.05$ ) se calcularon las correlaciones de los valores promedio por procedencia (Juárez *et al.*, 2006) para el largo, ancho, espesor y peso de semilla con los de las variables latitud, longitud, altitud y precipitación, para ello se utilizó el procedimiento PROC CORR (SAS, 2002).

### 5.3. Desarrollo de los ensayos

La producción de planta se realizó en las instalaciones del Campo Experimental “Bajos de Chila”, perteneciente a la Universidad del Mar, ubicado en el km 128.1 de la carretera federal 200, cuyas coordenadas geográficas son 15° 55’ 33.4” N y 97° 09’ 03.5” W, y altitud de 12 m. La duración de los ensayos fue de 19 semanas, pero se realizaron en distintos periodos del 2008; el ensayo de semilla-planta se efectuó de junio a octubre, mientras que el ensayo de procedencias se realizó de julio a noviembre. La obtención de pesos y secado de muestras se llevó a cabo en los laboratorios de docencia de la Universidad del Mar, campus Puerto Escondido.

### 5.4. Ensayo relación semilla-planta

Con la finalidad de conocer el efecto del tamaño de semilla en el tamaño de planta, se tomó una muestra de 400 semillas de *E. cyclocarpum* de la procedencia San Francisco, ya que ésta presentó la mayor variación entre la semilla más pequeña y la más grande, en comparación con otras procedencias. Para determinar la variabilidad del tamaño de semilla, se midió con vernier digital el largo, ancho y espesor, mientras que el peso se obtuvo con balanza analítica; asimismo, los datos fueron transformados a porcentaje mediante la siguiente ecuación:

$$X = \frac{A-B}{B} \times 100$$

Donde:

X= Valor en porcentaje de la variable de interés.

A= Valor máximo de la variable.

B= Valor mínimo de la variable.

En esta especie debido al intervalo numérico entre la semilla pequeña y la más grande (0.50 a 1.23 g) se dificulta crear clases de tamaño con base al peso, por ello se optó emplear la variable largo (13.63 a 22.70 mm). Se establecieron tres clases de tamaño, siendo éstas pequeña ( $\leq 16$  mm), mediana ( $>16$  y  $\leq 19$  mm) y grande ( $>19$  mm). Por experiencias previas en vivero, no se consideraron las semillas anormales, ya que originan plántulas de calidad inferior (tallos aplanados, escasa formación de raíz, cotiledones deformes y crecimiento irregular).

#### **5.4.1. Establecimiento del ensayo**

a) Evaluación a tres semanas. Se tomaron cuatro replicas de 100 semillas por cada tamaño, a cada semilla se le midió el largo, ancho, espesor y peso. Las semillas se etiquetaron individualmente; posteriormente fueron escarificadas (lijado) y sembradas en almácigo el 14 de junio de 2008, manteniendo el orden de tamaño, replica y número de semilla. El sustrato del almácigo estuvo conformado por tierra de monte; para evitar la presencia de hongos durante la siembra y transplante, se aplicó 2.5 g l<sup>-1</sup> de Captan<sup>®</sup>.

A la tercera semana después de la germinación, los cotiledones comenzaron a perder turgencia y a desprenderse, por tanto dejaron de aportar nutrientes a la plántula; por ello, a este tiempo se evaluó el efecto del tamaño de semilla sobre el tamaño de planta. Se midió el diámetro al cuello de raíz y la altura del hipocótilo; asimismo, fue tomada una muestra representativa de 19 plántulas por replica, a las cuales se les determinó la altura inicial (altura del hipocótilo más epicótilo), peso seco radicular y peso seco de tallo. Las muestras de tallo y raíz de las plantas seleccionadas se colocaron en estufa de secado a 85 °C hasta obtener peso constante (Sosa y

Rodríguez, 2003). Se calculó la relación peso seco de tallo/ peso seco radicular e índice de esbeltez (Cuadro 2). Además, utilizó la siguiente ecuación para determinar el índice de vigor (IV) de la planta.

$$IV = \frac{\text{Altura del hipocótilo (cm)}}{\text{Diámetro al cuello de raíz (mm)}}$$

b) Evaluación a diecinueve semanas. Para continuar con el ensayo se transplantaron 18 plantas por unidad experimental en bolsas de polietileno de 19 por 25 cm. El sustrato que se empleó fue una combinación de corteza, aserrín y tierra de monte (35, 35 y 30%, respectivamente). La fertilización y riego se realizó acorde al estadio de desarrollo de la planta (Cuadro 4).

El diseño experimental usado fue bloques completos al azar, con tres tratamientos (tamaño de semilla), cuatro replicas y 18 plantas por unidad experimental. En periodos bisemanales se midió el diámetro al cuello de raíz y altura de las plantas (Gopakumar y Gopikumar, 1993; Khurana y Singh, 2000). Debido a que la forma del cuello de raíz de *E. cyclocarpum* es ovoide, fue necesario orientar el tallo en el mismo sentido, esto para disminuir errores de medición del diámetro. Para minimizar errores en la medición de altura, primero se determinó la altura del hipocótilo y en cada medición sólo se midió la altura del epicótilo; la altura total se obtuvo con la suma de altura del hipocótilo y altura del epicótilo.

Cuadro 4. Programa de fertilización y riego aplicado a brinzales de *E. cyclocarpum*.

Fase	Formula <sup>§</sup>	Concentración de N (ppm)	Duración (semanas)	Riego (días)
Crecimiento inicial	9-15-45	25	2 <sup>†</sup>	3
Crecimiento rápido	20-8-20	50	11	3
Lignificación	9-15-45	50	1	5
	sf	0	2	5

<sup>§</sup>Fertilizante champion<sup>®</sup>, <sup>†</sup>Semanas después del transplante. sf= Sin fertilizar

En la última medición fueron seleccionados 15 brinzales por unidad experimental, los cuales fueron seccionados (tallos y raíz) y se colocaron en estufa de secado a 85 °C hasta obtener peso constante (Sosa y Rodríguez, 2003) y finalmente el peso seco se obtuvo con balanza analítica. También, se determinó la relación peso seco de tallo/peso seco radicular, índice de esbeltez e índice de calidad de Dickson (Dickson *et al.*, 1960; Rodríguez, 2008).

Los datos de las mediciones bisemanales fueron utilizadas para generar gráficas de crecimiento de plántulas a 19 semanas en vivero. Asimismo, se calculó la tasa de crecimiento relativo (Fisher, 1921; citado por Hunt *et al.*, 2002) con la siguiente ecuación:

$$\text{TCR} = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{T_2 - T_1}$$

donde:

TCR = Tasa de crecimiento relativo.

$P_2$  = Peso seco final (g).

$P_1$  = Peso seco inicial (g).

$T_2$  y  $T_1$  = Tiempo final y tiempo inicial (semanas).

#### 5.4.2. Índice de transformación

Se determinó el índice de transformación (IT), el cual relaciona los gramos de semilla que son transformados en gramos de peso seco de planta (Ocaña *et al.*, 1997). Para obtener el índice de transformación por tamaño de semilla se tomaron cuatro replicas de 25 semillas de la procedencia San Francisco. Se obtuvo el peso fresco de cada semilla, después se eliminó la testa y fueron secadas en estufa a 103 °C hasta obtener peso constante (Ocaña *et al.*, 1997); posteriormente se obtuvo el peso de la testa y peso de semilla sin testa, estos valores fueron transformados a porcentaje. Por otra parte, semillas de cada clase de tamaño se pusieron a germinar; las plántulas a tres semanas de edad se secaron y se obtuvo el peso seco. El índice de transformación se obtuvo con la siguiente fórmula (Ocaña *et al.*, 1997).

$$IT = \frac{\text{Peso medio de semilla sin testa (g)}}{\text{Peso medio de la planta seca (g)}}$$

Entre más bajo sean los valores obtenidos con el índice de transformación, indica que la semilla es más eficiente para la transformación de sustancias de reserva en biomasa de plántula.

#### 5.4.3. Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron depurados por medio de gráficas de correlaciones obtenidas con el programa estadístico R versión 2.9.0 (R Development Core Team, 2009). El coeficiente correlación de Pearson, análisis de varianza y comparación de medias de Tukey se obtuvieron usando el programa SAS. Para el primer análisis fue utilizado el PROC CORR, mientras para los dos últimos se empleó el procedimiento PROC GLM (SAS, 2002).

Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson ( $\alpha=0.05$ ) para las variables largo, ancho, espesor y peso de semilla. Las diferencias entre tratamientos (tamaño) en las variables largo, ancho, espesor y peso de semilla se determinaron a través de la comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

Por tratamiento (tamaño), las variables de semilla también fueron correlacionadas con las variables de plántulas (diámetro al cuello de raíz, altura del hipocótilo, altura total, peso de tallo, peso radicular, peso total, índice de esbeltez, relación peso seco de tallo/ peso seco radicular e índice de vigor) y con las variables de brinzales (diámetro al cuello de raíz, altura total, peso radicular, peso de tallo, peso total, índice de esbeltez, relación peso seco de tallo/ peso seco radicular e índice de calidad de Dickson). El análisis de varianza y la comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) permitió evaluar el efecto del tamaño de semilla sobre el tamaño de planta a tres y 19 semanas de cultivo.

La comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) también fue empleada para evidenciar posibles diferencias en el peso seco de testa y semilla sin testa, entre

tamaños de semilla. Asimismo, tales variables también fueron evaluadas a través de porcentaje, por ello fueron transformadas con la siguiente fórmula:

$$Y = \arcseno\sqrt{x/100}$$

Donde:

Y= Peso de la semilla transformado.

X= Peso de la semilla.

### 5.5. Ensayo de procedencias

Se evaluó el efecto de la procedencia sobre la calidad de planta en vivero de *E. cyclocarpum*, para ello se utilizaron semillas de 10 procedencias localizadas en la Costa de Oaxaca (Cuadro 3). El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar, con cinco replicas, 10 tratamientos (procedencias) y 15 plantas por unidad experimental.

Se tomó una muestra representativa de 100 semillas por procedencia, las cuales fueron escarificadas y sembradas el 25 de julio de 2008. Una semana después de la emergencia 15 plántulas por unidad experimental fueron transplantadas y se orientó el tallo en el mismo sentido con la finalidad de minimizar errores en la medición. Las plantas se cultivaron durante 19 semanas utilizando el mismo método que se empleó en el ensayo relación semilla-planta. A partir de la tercera semana de germinación por periodos bisemanales se midió el diámetro al cuello de raíz y altura total de las plantas (Gopakumar y Gopikumar, 1993). En la última medición fueron elegidas 12 plantas por unidad experimental, las cuales se seccionaron en tallo y raíz, para después colocarlas en la estufa de secado a 85 °C hasta obtener peso constante (Sosa y Rodríguez, 2003). Se calculó el índice de esbeltez, relación peso seco de tallo/ peso seco radicular e índice de calidad de Dickson (Dickson *et al.*, 1960; Rodríguez, 2008).

### 5.5.1. Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron depurados por medio de gráficas de correlaciones obtenidas con el programa estadístico R (R Development Core Team, 2009). Se calcularon las correlaciones de los valores promedio por procedencia de las variables evaluadas (Juárez *et al.*, 2006) con la longitud, latitud, altitud y precipitación de la procedencia, utilizando para ello el procedimiento PROC CORR (SAS, 2002); se obtuvo el análisis de varianza y la comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) con el procedimiento PROC GLM (SAS, 2002), la cual permitió evaluar el efecto de la procedencia sobre la calidad de planta en vivero. Las curvas de crecimiento en diámetro y altura, y la interacción de la procedencia con el tiempo de cultivo fueron obtenidas con el programa R (R Development Core Team, 2009).

### 5.6. Control de plagas y enfermedades en el cultivo de *E. cyclocarpum*

*E. cyclocarpum* fue atacado por plagas y enfermedades en diferentes etapas fenológicas (semilla, plántula y brinjal). Para contrarrestar el efecto fue necesario aplicar métodos físicos y químicos para el control de los mismos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Síntomas y control de plagas y enfermedades que afectan a *E. cyclocarpum* en vivero.

Agente <sup>§</sup>	Parte afectada	Síntomas	Daños	Método para controlar
Polilla (Larva)	Frutos maduros y semillas.	Los frutos plagados presentan perforaciones, y heces en forma de grumo. Las larvas pueden permanecer en el fruto hasta por una semana.	Consumen el mesocarpio del fruto, cuando éste se agota, las larvas optan por las semillas.	Evitar la colecta de frutos plagados.
Mosquita (Larva)	Cotiledones y yema apical	Los cotiledones afectados presentan perforaciones y coloración café claro o amarillento. El estado larvario dura menos de cuatro días.	Puede disminuir el crecimiento de la planta en 40%, o bien matarla.	Cuando se colocan más de 50 semillas juntas en el almácigo es recomendable protegerlo con tela pabellón.
Chinche (Adulto) <sup>§</sup>	Yema apical y hojas	Yema y hojas marchitas.	Bifurcación temprana cuando la yema apical es afectada. Disminuye el crecimiento.	Se aplicaron 2.5 ml de Tamarón <sup>®</sup> 600 por un litro de agua.
Pulgones (Adulto) <sup>§</sup>	Yema apical	La yema apical presenta coloración amarillenta y textura rugosa. Además se detiene el crecimiento.	El crecimiento de la planta en altura detiene e incluso ocurre bifurcación temprana.	Se aplicaron 2.5 ml de Tamarón <sup>®</sup> 600 por cada litro de agua.
Hongo ( <i>Oidium</i> )	Yema apical y en ocasiones hojas.	Las zonas afectadas toman una coloración ceniza y se pueden desprender con facilidad. El daño se puede presentar a las cuatro semanas después de la germinación.	Provoca bifurcación temprana de la planta.	Se utilizaron 5 ml de Sulfocop <sup>®</sup> por cada litro de agua.

<sup>§</sup>Fue necesario realizar aplicaciones bisemanales, con previo riego de lavado, aplicado antes de las 7 am.

## VI. Resultados y discusión

### 6.1. Variación de semillas entre procedencias

Entre procedencias el análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) evidenció diferencias significativas para largo, ancho, espesor, peso y número de semillas por kilogramo (Anexo 2). Asimismo, la comparación de medias de Tukey permitió observar que las semillas más alargadas fueron de la procedencia San Pedro, mientras las más cortas fueron La Tuza y Cortijo. Las semillas menos anchas correspondieron a las procedencias de San Francisco, mientras las más anchas pertenecieron a Pinotepa de Don Luis, Tataltepec y San Pedro. La procedencia San Francisco tuvo las semillas con menor espesor, en tanto que Colotepec, Pochutla, Los Limones y Tataltepec presentaron las semillas con mayor espesor. Para el peso, la procedencia San Pedro tuvo semillas más pesadas, en cambio las procedencias San Francisco y Cortijo tuvieron las semillas más livianas. La procedencia San Pedro al tener las semillas más grandes y pesadas presentó la menor cantidad de semillas por kilogramo, mientras que las procedencias San Francisco y Cortijo tuvieron el mayor número de semillas por kilogramo (Cuadro 6).

Con base en el color interno y externo de la semilla (fuera y dentro del pleurograma) se detectaron tres grupos; el primer grupo estuvo conformado por La Tuza, San Francisco y Colotepec; al segundo grupo pertenecen Pinotepa de Don Luis, El Zarzal, Tataltepec y Pochutla; Cortijo, Los Limones y San Pedro corresponden al tercer grupo (Cuadro 6). El grupo 1 y 2 se caracterizaron porque el color externo de la semilla fue café rojizo oscuro, pero difirieron en el color interno, ya que el primer grupo tuvo semillas de color rojizo oscuro y las del segundo grupo fueron café rojizo; para el grupo 3 el color externo fue café rojizo oscuro y el interno fue café oscuro.

Para la variable largo, San Francisco y Cortijo presentaron la mayor variación entre la semilla más pequeña y la más grande; mientras que La Tuza y Los Limones

Cuadro 6. Comparación de medias y error estándar para las variables cuantitativas y cualitativas de semillas de 10 procedencias de *E. cyclocarpum* de la Costa de Oaxaca.

Procedencia	Largo(mm) <sup>†</sup>	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	NSK <sup>‡</sup>	Color interno <sup>£</sup>	Color externo <sup>§</sup>
Cortijo	16.08±0.14 <sup>d</sup>	10.90±0.09 <sup>cd</sup>	7.06±0.07 <sup>bcd</sup>	0.823±0.013 <sup>f</sup>	1272	5	3
Pinotepa de Don Luis	17.56±0.15 <sup>bc</sup>	11.45±0.08 <sup>a</sup>	7.34±0.07 <sup>ab</sup>	0.973±0.016 <sup>bc</sup>	1112	1	6
La Tuza	16.99±0.11 <sup>c</sup>	10.97±0.08 <sup>bcd</sup>	7.20±0.07 <sup>abc</sup>	0.900±0.013 <sup>de</sup>	1163	1	3
El Zarzal	17.40±0.13 <sup>bc</sup>	11.29±0.09 <sup>ab</sup>	7.03±0.06 <sup>cd</sup>	0.921±0.017 <sup>cd</sup>	1135	1	6
San Francisco	17.62±0.17 <sup>b</sup>	10.75±0.08 <sup>d</sup>	6.81±0.06 <sup>d</sup>	0.825±0.013 <sup>e</sup>	1211	1	3
Tataltepec	17.54±0.11 <sup>bc</sup>	11.38±0.07 <sup>a</sup>	7.34±0.06 <sup>a</sup>	0.991±0.013 <sup>ab</sup>	1079	1	6
Los Limones	17.52±0.11 <sup>bc</sup>	11.30±0.08 <sup>ab</sup>	7.36±0.05 <sup>a</sup>	0.993±0.015 <sup>ab</sup>	1070	5	3
San Pedro	18.44±0.15 <sup>a</sup>	11.34±0.08 <sup>a</sup>	7.29±0.06 <sup>abc</sup>	1.038±0.016 <sup>a</sup>	992	5	3
Colotepec	17.47±0.12 <sup>bc</sup>	10.93±0.06 <sup>bcd</sup>	7.40±0.06 <sup>a</sup>	0.957±0.015 <sup>bcd</sup>	1144	1	3
Pochutla	17.13±0.11 <sup>bc</sup>	11.18±0.07 <sup>abc</sup>	7.37±0.06 <sup>a</sup>	0.965±0.014 <sup>bc</sup>	1094	1	6

<sup>†</sup>Valores seguidos por distinta literal en la misma columna muestran diferencia significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). <sup>‡</sup>Número de semillas por kilogramo.

<sup>£</sup>1= 200a, 5= 2002a (Royal Horticultural Society, 2007). <sup>§</sup>3= Rojizo muy oscuro, 6= Café rojizo oscuro (Munsell, 2002).

fueron las que exhibieron las semillas más uniformes en su tamaño. En el caso del ancho y espesor la procedencia Cortijo tuvo la mayor variación, en tanto que Colotepec fue más estable para el ancho y Los Limones para espesor. Con respecto al peso, la mayor variación entre la semilla más liviana y la más pesada fue para las procedencias El Zarzal y Pinotepa de Don Luis; en cambio, Tataltepec y Pochutla mostraron la menor variación (Cuadro 7). En *Quercus oleoides* Schltld. & Cham., las procedencias con mayor tamaño y peso de semilla, fueron las que presentaron mayor variación entre la semilla más chica y la más grande (Marquez *et al.*, 2005), sin embargo, esto no ocurrió en parota.

Cuadro 7. Coeficiente de variación para largo, ancho, espesor y peso de semilla para 10 procedencias de *E. cyclocarpum* de la Costa de Oaxaca.

Procedencia	Largo	Ancho	Espesor	Peso
Cortijo	9.015	8.797	9.774	15.756
Pinotepa de Don Luis	8.114	7.545	8.934	16.309
La Tuza	6.235	7.345	9.614	15.332
El Zarzal	7.835	8.221	8.199	18.664
San Francisco	9.771	7.146	9.250	14.998
Tataltepec	6.497	6.246	7.730	12.895
Los Limones	6.356	7.615	7.321	14.614
San Pedro	8.374	6.870	8.374	15.269
Colotepec	6.961	5.421	8.172	15.210
Pochutla	6.713	6.487	7.785	14.251

Las diferencias entre procedencias en tamaño y peso de semilla no es exclusivo de parota, ya que también ha sido reportado para *Quercus oleoides* (Márquez *et al.*, 2005), *Juniperus procera* Hochst. ex Endl. (Mamo *et al.*, 2006), *Pinus jaliscana* Pérez de la Rosa (Ramos *et al.*, 2003), *P. oaxacana* (Méndez *et al.*, 2001) y *Nothofagus*

*alessandrii* Espinosa (Santelices *et al.*, 2009), aunque en este último sólo se encontraron diferencias para el largo, siendo la excepción el ancho y espesor.

En Veracruz se ha reportado que el color externo de la semilla de parota es castaño rojizo y el interno es castaño oscuro (Niembro *et al.*, 2004), pero en semillas de la Costa de Oaxaca se encontraron dos tonalidades más comunes para el color interno: café rojizo oscuro y café oscuro (casi negro); mientras que el color externo fueron: rojizo muy oscuro y café rojizo oscuro. Es importante evaluar la variación en el color de la testa entre procedencias, ya que se ha encontrado que en *Cecropia obtusifolia* el color de la semilla influye en el porcentaje de germinación, ya que semillas color café oscuro presentan casi el 50% de germinación mientras las semillas negras tienen casi 20% de germinación, e incluso existe interacción entre el tamaño y color de la semilla (Tenorio *et al.*, 2008).

El tamaño y peso de las semillas pueden ser diferentes entre sitios de colecta como consecuencia de la variación geográfica, en ocasiones se ha establecido correlación entre el largo de la semilla y la precipitación del sitio de colecta, como ocurre en *Juniperus procera* (Mamo *et al.*, 2006), aunque en *Austrocedrus chilensis* (D. Don) Pic. Serm. & M. P. Bizzarri y *Nothofagus alessandrii* no existió relación entre el tamaño de la semilla con la altitud, latitud y precipitación del sitio de colecta (Pastorino y Gallo, 2000; Santelices *et al.*, 2009). En parota no se encontró relación clara entre el tamaño y el peso de la semilla con la precipitación y las características geográficas del sitio de colecta (Cuadro 8).

Sin embargo, la variación geográfica no puede ser la única causa de variación en el tamaño y peso de semillas, ya que en *Pinus oaxacana* las procedencias con menor largo, ancho y peso, se deben al grado de perturbación del sitio, lo cual ocasiona problemas de polinización (Méndez *et al.*, 2001); asimismo, en parota se han encontrado diferencias en el peso de semilla, siendo mayor en aquellas provenientes de selvas continuas en comparación con las de pastizales (Rocha y Aguilar, 2001), lo cual coincide parcialmente con lo encontrado en este trabajo, ya que las semillas de Cortijo fueron las más pequeñas y el sitio de colecta corresponde a un potrero, sin embargo,

para la Tuza la mayor parte de los árboles fueron colectados en selva mediana caducifolia y también presentó semillas pequeñas.

Cuadro 8. Correlaciones de variables de semilla con la precipitación y variables geográficas en 10 procedencias de *E. cyclocarpum* en la Costa de Oaxaca.

Variables de semilla	Latitud	Longitud	Altitud	Precipitación
Largo	-0.487	-0.512	0.105	-0.347
Ancho	0.008	-0.079	0.321	-0.092
Espesor	-0.281	-0.374	0.209	-0.276
Peso	-0.369	-0.548	-0.432	-0.224

\*Coeficiente de correlación de Pearson ( $p < 0.05$ ).

## 6.2. Ensayo relación semilla-planta

### 6.2.1. Variación natural en el tamaño de semilla

El tamaño promedio de las semillas de *E. cyclocarpum* de la procedencia San Francisco, se muestra en el cuadro 9. Para la variable largo, la variación entre la semilla más chica y la más grande fue de 13.63 a 22.70 mm. Dado al rango entre la semilla más pequeña y la más grande podría suponerse que el largo presentó la mayor variación. Sin embargo, tomando en cuenta los valores mínimos y máximos, el peso máximo es 144% mayo con respecto al peso mínimo, siendo superior a la relación de espesor, largo y ancho, los cuales presentan 97, 66 y 53%, respectivamente. Lo anterior fue corroborado con el coeficiente de variación (Cuadro 9.)

Para la variable largo, la mayor cantidad de observaciones se presentó entre el intervalo de 16 a 18 mm (Figura 3). Dicho intervalo corresponde a la clase mediana (16 a 19 mm), mientras las clases pequeña y grande presentaron menores frecuencias.

Cuadro 9. Estadísticos descriptivos para cuatro variables de semillas de *E. cyclocarpum* de la procedencia San Francisco.

Variable	Media <sup>†</sup>	EE	CV	Min	Max
Largo (mm)	17.321	0.078	8.967	13.630	22.700
Ancho (mm)	10.542	0.035	6.565	8.250	12.590
Espesor (mm)	6.792	0.031	9.232	4.550	8.950
Peso (g)	0.825	0.006	14.252	0.508	1.237

<sup>†</sup>Valores obtenidos a partir de cuatro replicas de 100 semillas.

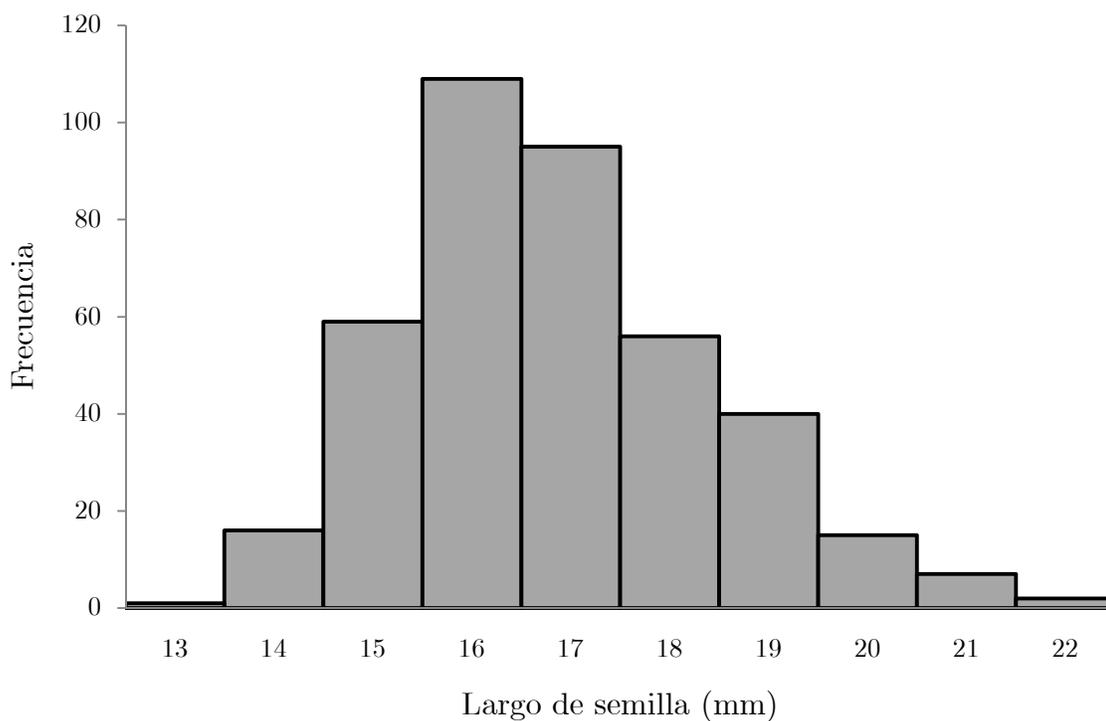


Figura 3. Frecuencia de tamaños (largo) de semilla de *E. cyclocarpum* de la procedencia San Francisco.

Las correlaciones realizadas evidencian que todas las variables están relacionadas, a excepción del ancho con espesor (Cuadro 10). La variable largo presentó alta y

positiva correlación con el ancho ( $p < 0.1 \times 10^{-3}$ ), mientras que con el espesor fue baja y negativa ( $p = 0.005$ ). El peso presentó alta correlación positiva con todas las variables.

Cuadro 10. Correlaciones estimadas para largo, ancho y espesor de semilla de *E. cyclocarpum* de la procedencia San Francisco.

	Ancho	Espesor	Peso
Largo	0.592*	- 0.139*	0.715*
Ancho		- 0.071	0.686*
Espesor			0.453*
Peso			

\*Significativo al 95%.

Al agrupar las semillas por clase de tamaño los valores del coeficiente de correlación de Pearson ( $\alpha = 0.05$ ) difieren de los anteriores (sin clases). La correlación entre el espesor y ancho, para la clase pequeña fue alta y positiva ( $p < 0.1 \times 10^{-3}$ ), mientras que en la grande ( $p < 0.1 \times 10^{-3}$ ) fue baja y negativa. Lo anterior difiere en parte a lo encontrado cuando no se establecieron clases; además, existió mejor correlación entre el espesor y largo para todos los tamaños (Cuadro 11). Para las clases mediana y grande, la variable que mejor se correlacionó fue el peso, mientras en la pequeña fue el espesor.

La correlación del largo con otras variables fue diferente entre tamaños. Por ejemplo, para largo y peso en la clase pequeña fue de 0.44, mientras en la mediana aumentó a 0.62 y para la grande disminuyó a 0.41. Cuando no se aplicaron clases la magnitud de la correlación para largo y peso fue de 0.71.

El promedio del largo de semilla fue de 14.96 mm, 17.49 mm y 20.42 mm para la clase pequeña, mediana y grande, respectivamente (Cuadro 12). De lo anterior, sólo la media de la clase mediana es similar a la obtenida cuando no se aplican clases.

Cuadro 11. Correlaciones estimadas para cuatro variables de tres tamaños de semillas de *E. cyclocarpum* de la procedencia San Francisco.

	<i>Pequeña</i>			<i>Mediana</i>			<i>Grande</i>		
	Anc	Esp	Pes	Anc	Esp	Pes	Anc	Esp	Pes
Lar	0.618*	0.657*	0.446*	-0.054	0.252*	0.625*	0.446*	- 0.257*	0.414*
Anc		0.581*	0.323*		0.029	0.402*		- 0.321*	0.410*
Esp			0.379*			0.616*			0.564*

Lar= largo, Anc= ancho, Esp= espesor, Pes= peso. Significativo al 95%.

Hubieron diferencias significativas ( $\alpha= 0.05$ ) en el ancho, espesor y peso entre tamaños de semilla (Anexo 3). La comparación de medias de Tukey ( $\alpha= 0.05$ ) evidenció que existen tres clases de tamaño para las variables ancho (pequeña, mediana y grande) y peso (liviana, intermedia y pesada). Aun cuando el espesor mostró la más alta variación entre la semilla pequeña y la más grande, sólo dos clases (pequeña y grande) fueron identificadas (Cuadro 12).

Cuadro 12. Comparación de medias y error estándar entre tres tamaños de semilla de *E. cyclocarpum* para cuatro variables.

Tratamiento	Largo (mm) <sup>†</sup>	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)
Pequeña	14.96±0.05 <sup>c</sup>	9.69±0.05 <sup>c</sup>	6.56±0.05 <sup>b</sup>	0.691±0.004 <sup>c</sup>
Mediana	17.49±0.04 <sup>b</sup>	10.52±0.03 <sup>b</sup>	7.17±0.02 <sup>a</sup>	0.889±0.004 <sup>b</sup>
Grande	20.42±0.04 <sup>a</sup>	11.60±0.04 <sup>a</sup>	7.24±0.04 <sup>a</sup>	1.113±0.005 <sup>a</sup>

<sup>†</sup> Valores seguidos por distinta literal en la misma columna muestran diferencia significativa (Tukey,  $p\leq 0.05$ ).

En semillas de *E. cyclocarpum* de la procedencia San Francisco el intervalo de variación obtenido para las variables ancho y espesor coincide con lo reportado por Niembro *et al.* (2004) en Veracruz; aunque difiere a lo obtenido por Parent (1997) y Niembro *et al.* (2004) para el largo, ya que reportan que las semillas miden de 15 a 25

mm, mientras en el presente estudio éstas son más pequeñas (13.63 a 22.70 mm). Janzen (1982) utilizando semillas de un sólo árbol encontró que el peso de las mismas fluctúa de 0.8 a 1.1 g, lo cual difiere a lo obtenido para las semillas de la procedencia San Francisco, ya que el intervalo fue mayor entre la semilla más liviana y la más pesada (0.508 a 1.237 g).

Se ha observado en *Albizia procera* y *Dipterocarpus macrocarpus* que la variación en el tamaño de semilla es una estrategia adaptativa para establecerse en distintas condiciones ambientales (Khurana y Singh, 2000; Shankar, 2006). En otras especies se ha encontrado que la variación en el largo, ancho, espesor y peso de la semilla está influenciado por el número de semillas por fruto, ya que existe una relación inversamente proporcional entre el número de semillas por fruto y su peso tal como sucede en *Mesua ferrea* (Arunachalam *et al.*, 2003). También influye la posición de la misma dentro del fruto, tal como ocurre en *Theobroma cacao*, *Vismia glaziovii* Ruhl., *Cecropia obtusifolia* para las variables largo, ancho y peso (Phillips, 1989; Arteaga, 2007; Tenorio *et al.*, 2008), porque las semillas ubicadas en la región distal del fruto tienden a ser más pequeñas, ocasionado por la morfología del mismo (Phillips, 1989; Mendizabal *et al.*, 2006). Además, la posición del fruto dentro del árbol también interviene en la variación, como ocurre en *Mesua ferrea* (Khan *et al.*, 2002). Por lo anterior, la variación encontrada en el largo, ancho, espesor y peso de semillas de parota posiblemente se deban a la forma y a la posición de la semilla en el fruto.

Probablemente el peso de la semilla de parota fue la variable más sensible a la cantidad y posición de la semilla dentro del fruto, ya que se encontró mayor intervalo de variación entre la semilla más liviana y la más pesada con respecto al largo, ancho y espesor, lo cual también ha sido reportado en *Chrysophyllum sp.* (Green, 1999), *Santalum album* (Manonmani y Vanangamudi, 2002) y *Dipterocarpus macrocarpus* (Shankar, 2006).

En *Stenocereus beneckeii* (Ehrenb.) A. Berger & Buxb. también se ha reportado buena correlación entre el peso con el ancho y largo de semilla (Ayala *et al.*, 2004); sin embargo, no se ha evaluado la tendencia de correlación entre clases de tamaño. En

parota dichas correlaciones cambian según la clase, siendo mejor la correlación en la pequeña.

Por otro lado, las diferencias obtenidas en los valores de correlación sin clasificación, entre y dentro de clases de tamaño de semilla podrían explicarse por la distribución natural que poseen las variables largo, ancho, espesor y peso. Por ello, la correlación entre largo y peso de semilla fue de 0.44, 0.62 y 0.41 para las clases de tamaño pequeña, mediana y grande, respectivamente. Según la tendencia observada en la correlación entre largo y peso de las semillas para las clases pequeña y mediana, y tal como ocurre al analizar la misma correlación pero sin clasificar por tamaño, se esperaba que la correlación de la clase grande fuese mayor. La disminución en el valor de la correlación para la clase grande, puede deberse al espesor, ya que las semillas pequeñas aunque tienen menor longitud (largo), se muestran visualmente con mayor espesor y conforme se incrementa el tamaño la forma de la semilla se vuelve más alargada y compacta. Por ello, la correlación entre largo y espesor es alta (0.657) en la clase pequeña, disminuyendo en la clase mediana (0.252) y se vuelve negativa (-0.257) en la grande (Cuadro 11), evidenciando así que a mayor tamaño de semilla el incremento en el espesor es menor.

A pesar de que el espesor ostentó la mayor variación sólo se reconocieron dos clases de tamaño, se asume que su baja correlación con el largo (con y sin clases) fue la causa de dicho número de clases. Contrario a lo anterior, para ancho y peso se obtuvieron tres clases de tamaño, lo cual quizás se deba a la correlación alta y positiva entre largo con ancho y peso de semilla. La variación de un carácter de semilla permite establecer clases de tamaño y peso (Agboola, 1996; Ayala *et al.*, 2004); sin embargo, no debería ser el único criterio que deba utilizarse, ya que se debe evaluar las correlaciones entre las distintas variables de la semilla.

### **6.2.2. Índice de transformación**

Se encontró que existen diferencias significativas para el índice de transformación, peso seco de semilla y sus componentes (Anexo 4). Al evaluar el peso

seco de semillas de *E. cyclocarpum* de la procedencia San Francisco, se evidenció que independientemente de la clase éstas se conforman por un 10% de agua; aunque de acuerdo a la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) conforme se incrementa el tamaño de semilla, también incrementa el contenido de agua en ellas, para el peso seco de semilla sin testa, la clase grande fue la mejor; sin embargo, para el índice de transformación la clase mediana fue superior a la grande y pequeña (Cuadro 13). Las semillas de la clase grande poseen mayor cantidad de testa (40.67%) con respecto a las de la clase mediana y pequeña (38.38 y 37.74%, respectivamente) (Cuadro 14).

Cuadro 13. Comparación de medias y error estándar entre tres tamaños de semilla de *E. cyclocarpum* para variables de peso seco, índice de transformación y contenido de agua.

Tratamiento	PSS (g) <sup>†</sup>	PST (g)	PSST(g)	IT	CA (g)
Pequeña	0.619±0.008 <sup>c</sup>	0.260±0.002 <sup>c</sup>	0.359±0.006 <sup>c</sup>	1.95±0.07 <sup>a</sup>	0.073±0.001 <sup>c</sup>
Mediana	0.743±0.007 <sup>b</sup>	0.317±0.003 <sup>b</sup>	0.425±0.007 <sup>b</sup>	1.71±0.02 <sup>b</sup>	0.085±0.002 <sup>b</sup>
Grande	0.893±0.010 <sup>a</sup>	0.405±0.004 <sup>a</sup>	0.488±0.008 <sup>a</sup>	2.01±0.07 <sup>a</sup>	0.105±0.002 <sup>a</sup>

PSS= Peso seco de semilla, PST= Peso seco de testa, PSST= Peso seco de semilla sin testa , IT= Índice de transformación, CA= Contenido de agua. <sup>†</sup> Valores seguidos por distinta literal en una misma columna muestran diferencia significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Con el incremento del tamaño de las semillas aumenta el peso de la misma, lo cual se traduce en una mayor cantidad de nutrientes. Siendo un claro ejemplo *Pericopsis elata*, aunque en ocasiones hay excepciones como *Afzelia africana* en donde el incremento en los nutrientes no es significativo (Burslem y Miller, 2001). En semillas de parota, el incremento del peso no es proporcional para cada uno de sus componentes (testa, cotiledones y embrión), ya que la clase grande posee mayor proporción de testa; aunque, lo anterior podría reflejarse en una menor cantidad de carbohidratos, pero en terminos absolutos en las semillas grandes no existe tal decremento.

Entre más bajo sean los valores obtenidos por el índice de transformación, indica que la semilla es más eficiente en la conversión de nutrientes a plántulas. Por ello, la clase mediana fue la mejor, ya que el valor obtenido fue inferior al de la clase pequeña y grande (Cuadro 13).

Cuadro 14. Comparación de medias y error estándar de tres tamaños de semilla de *E. cyclocarpum* para peso seco total (PST), semilla sin testa (PSST) y contenido de agua (CA).

Tratamiento	PST (%) <sup>†</sup>	PSST(%)	CA(%)
Pequeña	37.74±0.21 <sup>b</sup>	51.69±0.30 <sup>a</sup>	10.57±0.18 <sup>a</sup>
Mediana	38.38±0.23 <sup>b</sup>	51.32±0.27 <sup>a</sup>	10.30±0.17 <sup>a</sup>
Grande	40.67±0.18 <sup>a</sup>	48.82±0.16 <sup>b</sup>	10.52±0.19 <sup>a</sup>

<sup>†</sup>Valores seguidos por distinta literal en una misma columna muestran diferencias significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

La proporción de semilla sin testa de parota es menor (48.8 al 51.6%) comparado con las de *Quercus rugosa* y *Q. laurina*, que van de 53 a 75% y de 53 a 68%, respectivamente (Bonfil, 1998). Probablemente la mayor proporción de testa en las semillas de la clase grande, se deba a una estrategia de supervivencia utilizada por la parota para minimizar los efectos de la predación, ya que se encontró durante la investigación que los frutos son parasitados por una especie de polilla (Lepidoptero), además, en *Sabal palmetto* (Walter) Lodd. ex Schult. se ha encontrado que las semillas grandes en comparación con las pequeñas, son más depredadas por *Caryobruchus gleditsiae* (L.) debido a la mayor cantidad de reservas (Moegenburg, 1996).

En <sup>1</sup>*Panicum virgatum* L. el contenido de humedad (7.2 a 8.3%) se mantiene estable en siete clases de tamaño de semilla (Zhang y Maun, 1991), tal comportamiento también se manifestó en parota.

<sup>1</sup>Diferente forma de vida (Ver anexo 1)

El índice de transformación sólo se ha utilizado en *Quercus ilex*, *Pinus pinea*, *P. pinaster*, y *P. sylvestris*, en éstas especies se encontró que su valor decrece conforme disminuye el tamaño de semilla (Ocaña *et al.*, 1997); sin embargo, en *E. cyclocarpum* los valores del índice fueron superiores a lo reportado para *Quercus ilex*, que posee semilla de mayor peso (Ocaña *et al.*, 1997).

### 6.2.3. Relación tamaño de semilla-planta

Se obtuvo del 99 al 100% de germinación para los tres tamaños de semilla. La germinación ocurrió del tercer al décimo día después de la siembra. Dentro de cada clase existieron semillas de germinación tardía, pero representaron menos del 5% de las semillas puestas a germinar.

a) Efecto inicial de tamaño de semilla. A tres semanas después de la germinación las variables de semilla presentaron mejor correlación con las variables de plántula en la clase pequeña, en comparación con la clase mediana y grande. Para las tres clases de tamaño de semilla evaluados el índice de vigor, índice de esbeltez y relación peso seco de tallo/peso seco radicular presentaron poca o nula correlación con el largo de semilla (Cuadro 15).

En la clase de semilla pequeña, la mayoría de las variables (largo, ancho, espesor y peso) están correlacionadas con el diámetro al cuello de raíz, altura del hipocótilo, altura total, peso seco de tallo y peso seco total de la plántula. Para la clase mediana el largo se correlacionó con las variables altura del hipocótilo ( $p=0.001$ ), altura total ( $p=0.016$ ), peso seco de tallo ( $p=0.012$ ), peso total ( $p=0.021$ ) y diámetro al cuello de raíz ( $p<0.1 \times 10^{-3}$ ), aunque para esta última la relación fue negativa. Para los índices de calidad sólo hubo correlación con el índice de esbeltez ( $p=0.003$ ) e índice de vigor ( $p=0.014$ ). En la clase grande, el largo sólo se correlacionó con diámetro al cuello de raíz ( $p=0.003$ ), altura del hipocótilo ( $p<0.5 \times 10^{-3}$ ) e índice de vigor ( $p=0.004$ ).

Cuadro 15. Correlaciones entre variables de tres tamaños de semilla y variables de plántula de *E. cyclocarpum* a tres semanas de cultivo en vivero.

Tamaño de semilla	Variables de plántula								
	DC	AH	AT	PSR	PST	PT	IE	IV	PSTR
<i>Pequeña</i>									
Largo	0.174*	0.164*	0.312*	0.096	0.344*	0.325*	0.122	- 0.013	0.169
Ancho	0.128*	0.089	0.443*	0.070	0.406*	0.376*	0.314*	0.184	0.263*
Espesor	0.119*	0.144*	0.332*	0.314*	0.459*	0.467*	0.183	- 0.014	0.049
Peso	0.269*	0.365*	0.436*	0.320*	0.596*	0.591*	0.228	0.071	0.172
<i>Mediana</i>									
Largo	- 0.379*	0.166*	0.293*	0.030	0.303*	0.280*	0.354*	0.298*	0.163
Ancho	0.297*	0.006	- 0.027	0.069	0.150	0.147	- 0.104	- 0.106	- 0.030
Espesor	- 0.063	0.216*	0.234	0.169	0.397*	0.388*	0.243*	0.251*	0.120
Peso	- 0.042	0.244*	0.293	0.224	0.565*	0.550*	0.258*	0.190	0.144
<i>Grande</i>									
Largo	0.169*	- 0.198*	0.020	0.028	0.039	0.040	- 0.117	- 0.356*	0.003
Ancho	0.196*	- 0.093	- 0.118	0.063	- 0.0210	- 0.013	- 0.167	- 0.201	- 0.082
Espesor	0.023	0.258*	0.135	0.296*	0.324*	0.335*	0.133	0.282*	-0.012
Peso	0.207*	0.099	0.102	0.391*	0.371*	0.389*	-0.000	-0.049	-0.071

DC= Diámetro al cuello de raíz, AH= Altura del hipocótilo, AT= Altura total, PSR= Peso seco radicular, PST= Peso seco de tallo, PT= Peso seco total, IE= Índice de esbeltez, IV= Índice de vigor, PSTR= Peso seco de tallo entre peso seco radicular. \*Significativo al 95%.

El peso de semilla mostró la mejor correlación con la mayoría de las variables de planta e índices de calidad, en comparación con el largo, ancho y espesor. En otras especies se ha encontrado que el peso de la semilla se correlaciona con altura, longitud de raíz, área foliar, número de hojas y peso seco, tal como ocurre en <sup>1</sup>*Pastinaca sativa* L., *Mesua ferrea*, *Ziziphus mistol*, *Dipterocarpus macrocarpus* (Hendrix *et al.*, 1991; Arunachalam, 2003; Aráoz, 2004; Shankar, 2006), aunque también el diámetro se relaciona con la altura y diámetro de planta (Shankar, 2006). Sin embargo, en *Vismia glaziovii* no existe relación entre el tamaño de semilla con la planta (Arteaga, 2007).

A tres semanas de germinación el tamaño de semilla influyó en el tamaño de plántula de *E. cyclocarpum*, correspondiente a la procedencia San Francisco (Anexo 5). Para las variables diámetro al cuello de raíz y peso seco radicular, la clase mediana fue mejor a la pequeña y grande, no habiendo diferencias significativas entre estas últimas. Mientras para altura total, peso seco de tallo, peso seco total e índice de esbeltez la clase mediana y grande no difieren estadísticamente entre ellas y son superiores a la clase pequeña. La clase grande fue superior a las otras clases en las variables altura del hipocótilo, índice de vigor y relación peso aéreo/ peso radicular (Cuadro 16).

Otras investigaciones han encontrado efecto de tamaño de la semilla en la germinación de *Chrysophyllum sp.*, *Mesua ferrea* y *Cecropia obtusifolia* (Green, 1999; Khan *et al.*, 2002; Tenorio *et al.*, 2008); además, dentro de cada clase de tamaño, existen semillas de germinación temprana y tardía, lo cual repercute sobre la altura de planta (Seiwa, 2000). Sin embargo, dichos efectos fueron minimizados por el tratamiento pregerminativo y método de siembra utilizado.

En *Gmelina arborea* (Agboola, 1996), <sup>1</sup>*Hyptis suaveolens* (Mandal *et al.*, 2008) se ha encontrado efecto del tamaño de semilla sobre altura y peso seco de planta; aunque en ocasiones el efecto sólo se presenta en altura, tal como ocurre en *Hymenaea stilbocarpa* Hayne (Malavasi y Malavasi, 1995), *Pongamia pinnata* (L.) Pierre

<sup>1</sup>Diferente forma de vida (Ver anexo 1)

Cuadro 16. Comparación de medias y error estándar para el efecto del tamaño de semilla en el tamaño de planta de *E. cyclocarpum* a tres semanas de cultivo en vivero.

Variables de plántula	Tamaño de semilla		
	Pequeña	Mediana	Grande
DC (mm) <sup>†</sup>	3.69±0.03 <sup>b</sup>	3.80±0.04 <sup>a</sup>	3.65±0.03 <sup>b</sup>
AH (cm)	13.63±0.14 <sup>c</sup>	15.26±0.16 <sup>b</sup>	15.52±0.17 <sup>a</sup>
AT (cm)	23.74±0.36 <sup>b</sup>	29.40±0.46 <sup>a</sup>	29.62±0.53 <sup>a</sup>
PSR (g)	0.023±0.001 <sup>b</sup>	0.026±0.001 <sup>a</sup>	0.023±0.001 <sup>b</sup>
PST (g)	0.163±0.004 <sup>b</sup>	0.223±0.004 <sup>a</sup>	0.229±0.007 <sup>a</sup>
PT (g)	0.186±0.004 <sup>b</sup>	0.249±0.005 <sup>a</sup>	0.252±0.007 <sup>a</sup>
IE	6.46±0.11 <sup>b</sup>	7.83±0.16 <sup>a</sup>	8.14±0.16 <sup>a</sup>
IV	3.71±0.05 <sup>c</sup>	4.05±0.06 <sup>b</sup>	4.26±0.05 <sup>a</sup>
PSTR	7.58±0.24 <sup>c</sup>	8.87±0.23 <sup>b</sup>	10.45±0.33 <sup>a</sup>

DC= Diámetro al cuello de raíz, AH= Altura del hipocótilo, AT= Altura total, PSR= Peso seco radicular, PST= Peso seco de tallo, PT= Peso seco total, IE= Índice de esbeltez, IV= Índice de vigor, PSTR= peso seco de tallo/ peso seco radicular. <sup>†</sup>Valores seguidos por distinta literal en una misma fila muestran diferencia significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

(Manonmani *et al.*, 1996), *Albizia procera* (Khurana y Singh, 2000), *Mesua ferrea* (Arunachalam *et al.*, 2003), *Dipterocarpus macrocarpus* (Shankar, 2006), o en el peso de la planta, como es el caso de *Pastinaca sativa* (Hendrix *et al.*, 1991). Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio. Asimismo, se encontró que la clase mediana y grande no presentan diferencias significativas para las variables evaluadas, pero se difiere a lo observado en *Santalum album* (Manonmani *et al.*, 1996), *Mesua ferrea* (Arunachalam *et al.*, 2003) y *Dipterocarpus macrocarpus* (Shankar, 2006) ya que en éstas especies la clase grande fue superior a la intermedia y la pequeña. En semillas de *Gmelina arborea* e *Hyptis suaveolens* se ha determinado que la clase grande es mejor, pero sólo han evaluado dos tamaños de semilla (pequeña y grande) (Agboola, 1996; Mandal *et al.*, 2008). Las semillas medianas presentan un comportamiento intermedio entre la clase grande y pequeña (Khurana y Singh, 2000),

pero en parota su comportamiento fue como semilla grande. Es necesario evaluar las semillas de tamaño mediana, ya que en *Gmelina arborea* llegan a constituir más del 40% de semillas disponibles (Roy *et al.*, 1996).

En parota, la clase de tamaño mediana dio origen a plántulas con mejor diámetro al cuello de raíz y peso seco radicular de la plántula, lo cual contrasta a lo reportado para *Hymenaea stilbocarpa*, *Albizia procera* y *Dipterocarpus macrocarpus* (Malavasi y Malavasi, 1995; Khurana y Singh, 2000; Shankar, 2006) en donde la clase grande fue superior.

La altura del hipocótilo está influenciada por la luz y densidad de siembra, pero tales efectos en parota son descartados ya que existió un adecuado espaciamiento entre semillas, lo cual evitó la competencia por luz. En *Pastinaca sativa* las diferencias se deben al tamaño del embrión, ya que existe relación entre el mismo y el peso de semilla (Hendrix *et al.*, 1991).

El tamaño de planta se relaciona con la cantidad de reservas nutricionales existentes en la semilla (Seiwa, 2000), las cuales permiten producir una planta con mayor área foliar (Upadhaya *et al.*, 2007; Mandal *et al.*, 2008) incrementado así la cantidad de fotosintatos necesarios para el funcionamiento de la planta. Se detectaron diferencias significativas entre tamaños de semilla para el peso seco de semilla sin testa, lo cual se traduce en una mayor disponibilidad de reservas nutricionales; pero quizás en parota dichas reservas no fueron suficientes para originar plantas más altas y robustas en la clase grande, como ocurre en *Vismia glaziovii* (Arteaga, 2007); además, de manera proporcional las semillas de la clase grande están conformadas por mayor cantidad de testa, reduciendo así las reservas nutricionales. Aunado a lo anterior, al evaluar las plántulas (tres semanas) aun permanecían los cotiledones, pero también ya poseían un prófalo y un nomófilo, los cuales ya aportaban fotosintatos a la plántula; se ha encontrado que aún cuando una planta presente hojas y cotiledones al mismo tiempo, estos últimos todavía aportan nutrientes de reserva, por ello es difícil establecer el tiempo en el cual los cotiledones dejan de tener efecto en la planta (Bonfil, 1998).

Si bien es cierto que el tamaño de semilla confiere ventajas en la germinación, tasa de crecimiento, tamaño y desempeño de la planta en campo (Capinera, 1979) esto no ocurre con todas las especies, por ejemplo, en *Theobroma cacao* (Phillips, 1989) y *Vismia glaziovii* (Arteaga, 2007), el tamaño de semilla no influye en el tamaño de la plántula. En *Hymenaea stilbocarpa* existe efecto del tamaño de semilla cuando se utiliza la variable largo, pero no hay efecto cuando se emplea el peso (Malavasi y Malavasi, 1995); por el contrario en *Dipterocarpus macrocarpus* no importa la variable de semilla que se emplee, el resultado es el mismo (Shankar, 2006).

Los índices de calidad de plántula evidencian que las plantas de la clase pequeña poseen mayor equilibrio entre la parte aérea y la parte radicular. Sin embargo, es necesario evaluar si el equilibrio se mantiene hasta el final del cultivo.

b) Efecto del tamaño de semilla a diecinueve semanas de cultivo. Las correlaciones obtenidas entre variables de semilla y planta, fueron distintas entre los tamaños, siendo la clase pequeña la que presentó la mejor correlación (Cuadro 17).

En la clase de tamaño pequeña, el largo se correlacionó con el diámetro al cuello de raíz ( $p=0.010$ ), peso seco de tallo ( $p=0.015$ ), peso seco total ( $p=0.021$ ) e índice de calidad de Dickson ( $p=0.028$ ); la clase mediana sólo se correlacionó con la altura total ( $p<0.4 \times 10^{-3}$ ) e índice de esbeltez ( $p<0.005$ ); mientras que en la clase grande no se correlacionó el largo con variables de plántula. El peso de semilla en comparación con el largo, mostró mejor correlación para cada una de las clases.

El peso seco radicular y la relación peso seco de tallo/peso seco radicular, no se correlacionaron con el largo de semilla para ninguna de las clases de tamaño, el mismo comportamiento se presentó a las tres semanas de cultivo, probablemente el peso de la raíz no depende del largo, sino del peso de la semilla.

En *Dipterocarpus macrocarpus* el peso y diámetro de la semilla se correlacionan con el diámetro y altura de la planta (Shankar, 2006). En parota el diámetro no fue medido, pero si el peso, el cual está relacionado con la altura para todas las clases, mientras con el diámetro al cuello de raíz sólo se correlaciona para la clase pequeña y grande.

Cuadro 17. Correlaciones entre variables de tres tamaños de semilla y variables de brinjal de *E. cyclocarpum* a 19 semanas de cultivo en vivero.

Tamaño de semilla	Variables de brinjal							
	DC	AT	PSR	PST	PT	IE	PSTR	ICD
<i>Pequeña</i>								
Largo	0.348*	0.232	0.221	0.328*	0.314*	- 0.192	0.257	0.299*
Ancho	0.424*	0.208	0.341*	0.354*	0.359*	- 0.328*	0.069	0.397*
Espesor	0.271*	0.126	0.276*	0.412*	0.394*	0.232	0.262	0.371*
Peso	0.471*	0.408*	0.403*	0.422*	0.427*	0.116	- 0.040	0.438*
<i>Mediana</i>								
Largo	- 0.029	0.454*	- 0.106	- 0.017	- 0.037	0.370*	0.201	- 0.146
Ancho	0.094	- 0.156	0.304*	0.226	0.246	- 0.225	- 0.244	0.314*
Espesor	0.080	0.132	0.079	0.075	0.075	0.002	- 0.155	0.108
Peso	0.196	0.408*	0.025	0.057	- 0.001	0.092	- 0.012	0.033
<i>Grande</i>								
Largo	0.138	0.152	- 0.078	- 0.033	- 0.044	0.016	0.169	- 0.070
Ancho	0.144	0.264	0.172	0.148	0.156	0.149	- 0.083	0.150
Espesor	0.251	0.020	0.070	0.081	0.079	- 0.228	- 0.040	0.102
Peso	0.421*	0.323*	0.139	0.153	0.151	- 0.068	0.016	0.151

DC= Diámetro al cuello de raíz, AT= Altura total, PSR= Peso seco radicular, PST= Peso seco de tallo, PT= Peso seco total, IE= Índice de esbeltez, PSTR= Peso seco de tallo/ peso seco radicular e ICD = Índice de calidad de Dickson. \* Significativo al 95%.

En general, la magnitud y número de correlaciones que existe entre la semilla y la planta disminuyen con el tiempo (Hendrix *et al.*, 1991), lo cual se observó en parota, evidenciando que el efecto del tamaño de semilla disminuye. Quizás, factores relacionados con la planta (eficiencia, vigor) sean los que influyen en el crecimiento de la planta; mientras factores ambientales como luz y agua son descartados debido al método de cultivo empleado.

A diecinueve semanas de cultivo el efecto de tamaño de semilla sólo se mantiene para altura e índice de esbeltez (Anexo 6), en estas variables, las clases mediana y grande son estadísticamente iguales, pero son mejores a la clase pequeña (Cuadro 18). El peso de semilla ha sido considerado como el mejor indicador de reservas para el crecimiento de brinzales (Bonfil, 1998), ya que la concentración de nitrógeno se incrementa con el tamaño de semilla (Burslem y Miller, 2001). Sin embargo, en parota el efecto inicial no se mantuvo hasta el final del cultivo, por ello probablemente dichas reservas no son suficientes para influir en el tamaño de final de la planta, y quizás son otros los factores que intervienen en el desarrollo de la planta.

Se ha recomendado ampliamente el uso de semillas grandes debido a su vigor (Moegenburg, 1996; Manonmani y Vanangamudi, 2002); sin embargo, las ventajas iniciales se pierden con el tiempo (Mandal *et al.*, 2008), tal como ocurrió en parota; además, coincide parcialmente con *Tectona grandis* ya que no existe efecto del tamaño de semilla (Indira *et al.*, 2000). Aunque en *Albizia procera* el efecto del tamaño de semilla sobre la altura y diámetro se mantiene hasta los cinco meses (Khurana y Singh, 2000).

El efecto del tamaño de semilla depende de las condiciones de crecimiento, como ha sido demostrado en <sup>1</sup>*Ludwigia leptocarpa* (Nutt.) H. Hara, donde las plantas que crecen por separado no se evidencia efecto de tamaño de semilla; sin embargo, cuando éstas crecen juntas las semillas grandes originan plantas más grandes (Dolan, 1984). Las plántulas provenientes de semillas pequeñas son buenas competidoras, siempre y cuando crezcan solas (Wulff, 1986, citado por Hendrix *et al.*, 1991); si crecen juntas las plántulas entran en competencia, y dada su posición las más grandes suprimen a

<sup>1</sup>Diferente forma de vida (Ver anexo 1)

las pequeñas, limitando así el crecimiento de estas últimas, durante las primeras semanas de cultivo.

Cuadro 18. Comparación de medias y error estándar para el efecto del tamaño de semilla sobre el tamaño de planta de *E. cyclocarpum* a 19 semanas de cultivo en vivero.

Variables de brinzales	Tamaño de semilla		
	Pequeña	Mediana	Grande
DC (mm) <sup>†</sup>	4.05±0.66 <sup>a</sup>	4.15±0.08 <sup>a</sup>	4.15±0.06 <sup>a</sup>
AT (cm)	34.84±0.66 <sup>b</sup>	40.93±0.62 <sup>a</sup>	39.67±0.60 <sup>a</sup>
PSR (g)	0.237±0.015 <sup>a</sup>	0.278±0.019 <sup>a</sup>	0.278±0.025 <sup>a</sup>
PST (g)	1.072±0.062 <sup>a</sup>	1.198±0.069 <sup>a</sup>	1.188±0.083 <sup>a</sup>
PT (g)	1.309±0.075 <sup>a</sup>	1.476±0.085 <sup>a</sup>	1.466±0.106 <sup>a</sup>
IE	8.644±0.117 <sup>b</sup>	10.024±0.197 <sup>a</sup>	9.608±0.132 <sup>a</sup>
PSTR	4.688±0.146 <sup>a</sup>	4.626±0.160 <sup>a</sup>	4.565±0.119 <sup>a</sup>
ICD	0.099±0.005 <sup>a</sup>	0.103±0.006 <sup>a</sup>	0.106±0.008 <sup>a</sup>

DC= diámetro al cuello de raíz, AT= altura total, PSR= peso seco radicular, PST= peso seco de tallo, PT= peso seco total, IE= índice de esbeltez, PSTR = peso seco de tallo/ peso seco radicular e ICD= Índice de calidad de Dickson. <sup>†</sup>Valores seguidos por distinta literal en una misma fila muestran diferencia significativa (Tukey, p≤0.05).

#### 6.2.4. Tasa de crecimiento

A 19 semanas de cultivo en vivero no se encontraron diferencias significativas entre las tasas de crecimiento relativo en brinzales de *E. cyclocarpum* provenientes de tres tamaños de semilla (Figura 4). Evidenciando así que los tres tamaños son vigorosos en su crecimiento.

En *Albizia procera* y *Pericopsis elata* el tamaño de semilla no influye en la tasa de crecimiento relativo (Khurana y Singh, 2000; Burslem y Miller, 2001); en cambio para *Azelia africana* y *Gmelina arborea* las semillas grandes presentan mayor tasa de crecimiento relativo (Agboola, 1996; Burslem y Miller, 2001).

La curva de crecimiento de altura total a 19 semanas de cultivo (Figura 5), evidencia la misma tendencia para los tres tamaños de semilla. Si bien, al inicio del cultivo la clase grande y mediana eran estadísticamente iguales, en términos numéricos la clase grande fue mayor a la clase mediana, pero a partir de la onceava semana esta última comenzo a superar a la grande (Anexo 7). Asimismo, a la décimo tercera semana de cultivo se observó una disminución en el crecimiento provocado por el ataque de chinches en la yema apical de la planta.

Para el diámetro al cuello de raíz sólo se presenta su crecimiento a partir de la novena semana de cultivo (Figura 6), aunque a las tres semanas después de la germinación existió efecto de tamaño de semilla, a partir de la novena semana el efecto se anuló, unicamente la tendencia de crecimiento de la clase pequeña fue distinta al resto de las clases (Anexo 7).

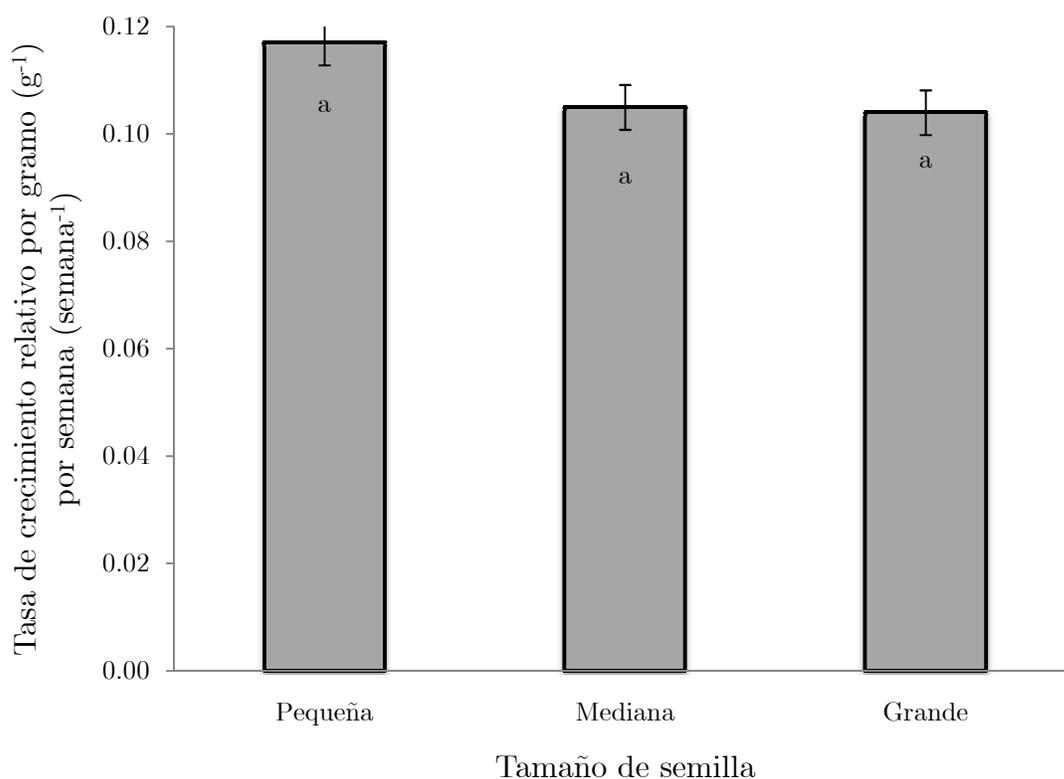


Figura 4. Tasa de crecimiento relativo de brinzales de *E. cyclocarpum* a 19 semanas de cultivo en vivero.

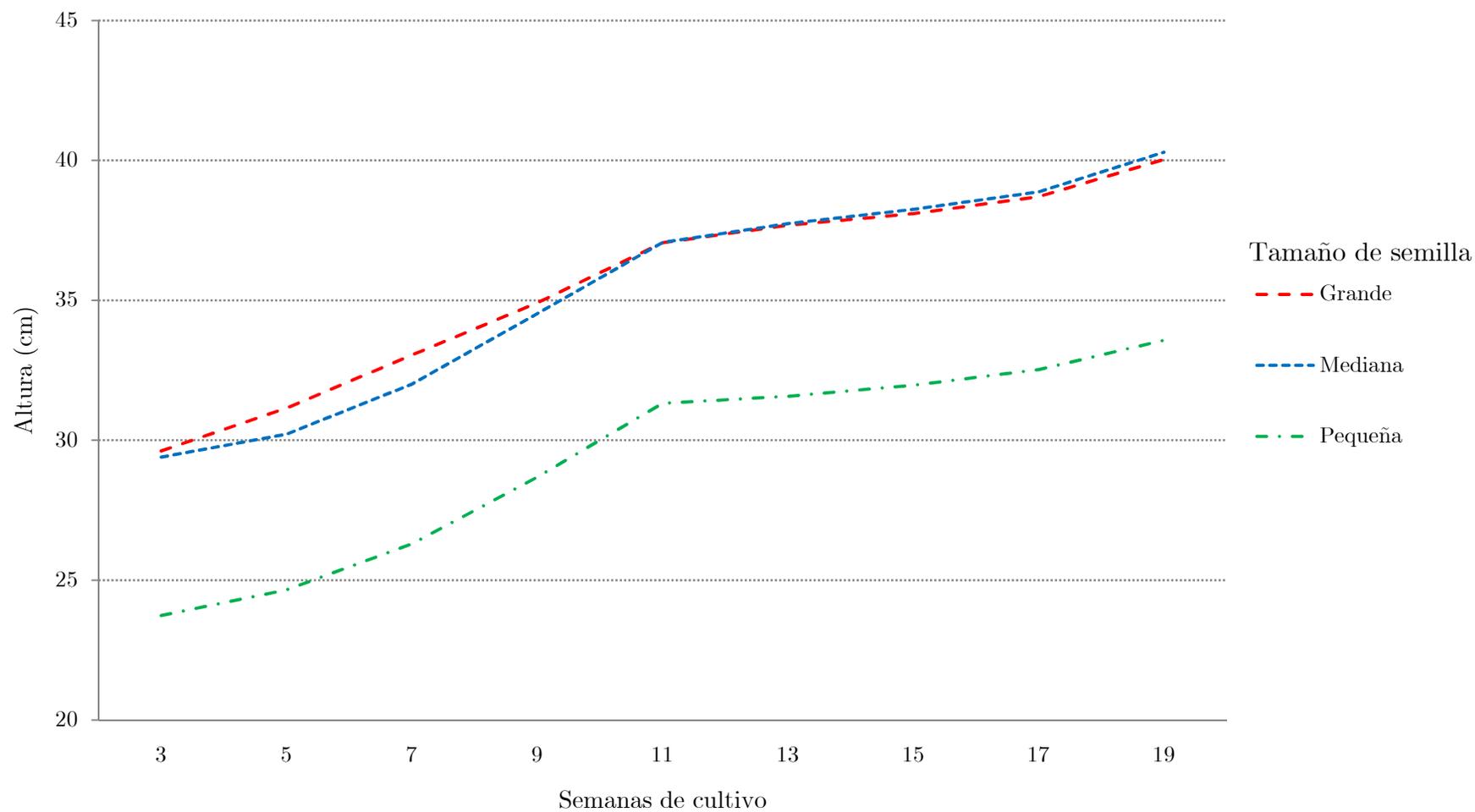


Figura 5. Crecimiento en altura total de brinzales de *E. cyclocarpum* de tres tamaños de semilla (A partir de la tercera semana después de la germinación).

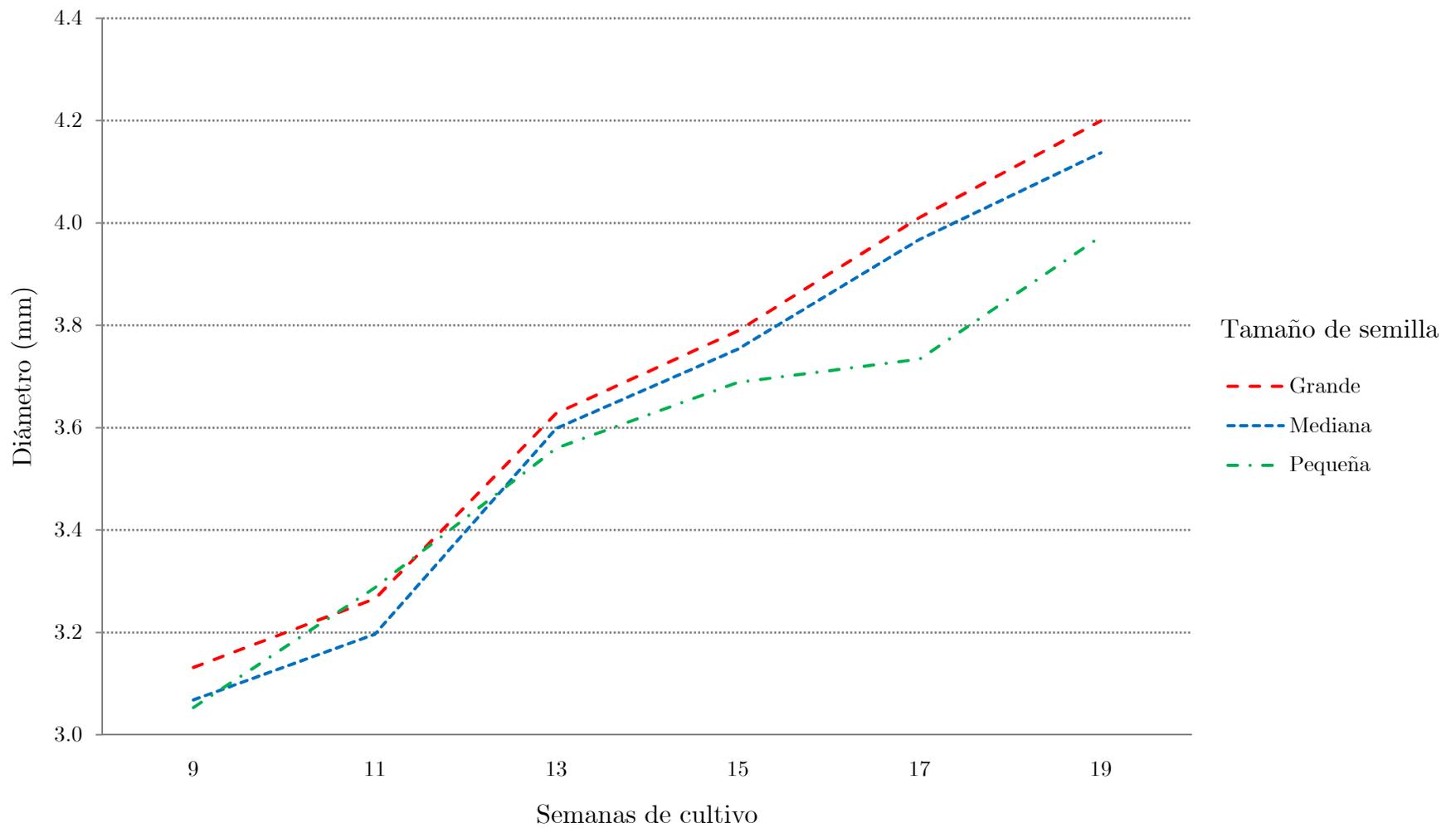


Figura 6. Crecimiento en diámetro al cuello de raíz de brinzales de *E. cyclocarpum* de tres tamaños de semilla.

### 6.3. Ensayo de procedencias

a) Efecto de la procedencia a tres semanas de cultivo. La altura del hipocótilo varió de 13.5 cm para la procedencia Cortijo, hasta 15.6 cm para San Pedro; esta variable comparada con altura total y diámetro al cuello de raíz tuvo la mayor variación entre la plántula más grande y la más pequeña; asimismo, el análisis de varianza evidenció diferencias entre procedencias para altura del hipocótilo, altura total y diámetro al cuello de raíz (Anexo 8). En cuanto a la altura total, San Pedro originó plantas más altas pero no difiere estadísticamente de Tataltepec, San Francisco y Pochutla (Cuadro 19); en cambio, para la altura del hipocótilo San Pedro y Tataltepec son mejores y estadísticamente diferentes de Colotepec, Los Limones y Cortijo; las procedencias Tataltepec y San Francisco originaron plántulas con mayor diámetro al cuello de raíz, pero sólo difieren estadísticamente de Cortijo y Pochutla.

En parota la altura del hipocótilo y altura total presentaron correlación significativa con la longitud, latitud y precipitación del sitio de colecta (Cuadro 20) Sin embargo, la calidad de sitio de la procedencia puede influir en el crecimiento inicial, ya que las plantas provenientes de semillas obtenidas de selvas continuas son más vigorosas en comparación de aquellas originadas en pastizales (Rocha y Aguilar, 2001). En plántulas de *Pseudotsuga menziesii* el efecto de la procedencia sobre altura del hipocótilo y altura total no responde a un patrón geográfico (Juárez *et al.*, 2006), en cambio, los resultados obtenidos en este estudio difieren parcialmente a los reportados para *Pinus teocote* (Ramírez *et al.*, 2001) y *Pinus hartwegii* Lindl. (Ortega *et al.*, 2003) ya que no se encontraron diferencias entre procedencias para altura y diámetro al cuello de raíz de brinzales.

Cuadro 19. Comparación de medias y error estándar para efecto de la procedencia sobre tres variables de planta de *E. cyclocarpum* de la Costa de Oaxaca a tres semanas de cultivo en vivero.

Procedencia	Altura del hipocótilo	Altura total	Diámetro al cuello
	(cm) <sup>†</sup>	(cm)	de raíz (mm)
San Pedro	15.57±0.19 <sup>a</sup>	29.57±0.41 <sup>a</sup>	2.75±0.03 <sup>ab</sup>
Tataltepec	15.48±0.15 <sup>a</sup>	29.37±0.41 <sup>ab</sup>	2.83±0.03 <sup>a</sup>
San Francisco	15.36±0.18 <sup>ab</sup>	28.16±0.35 <sup>abc</sup>	2.86±0.03 <sup>a</sup>
La Tuza	15.17±0.20 <sup>ab</sup>	26.63±0.42 <sup>cd</sup>	2.74±0.03 <sup>ab</sup>
Pochutla	15.08±0.17 <sup>ab</sup>	27.79±0.46 <sup>abcd</sup>	2.65±0.03 <sup>b</sup>
El Zarzal	15.01±0.18 <sup>abc</sup>	27.55±0.45 <sup>bc</sup>	2.72±0.04 <sup>ab</sup>
Pinotepa de Don Luis	14.76±0.21 <sup>abc</sup>	27.31±0.36 <sup>cd</sup>	2.73±0.03 <sup>ab</sup>
Colotepec	14.54±0.16 <sup>bc</sup>	25.89±0.38 <sup>cd</sup>	2.75±0.03 <sup>ab</sup>
Los Limones	14.22±0.20 <sup>cd</sup>	26.02±0.52 <sup>cd</sup>	2.76±0.03 <sup>ab</sup>
Cortijo	13.53±0.22 <sup>d</sup>	26.75±0.42 <sup>cd</sup>	2.65±0.03 <sup>b</sup>

<sup>†</sup> Valores seguidos por distinta literal en la misma columna muestran diferencia significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Cuadro 20. Correlaciones entre variables de planta y variables geográficas en 10 procedencias de *E. cyclocarpum* en la Costa de Oaxaca a tres semanas de cultivo.

Variables de planta	Variables geográficas y climáticas			
	Longitud	Latitud	Altitud	Precipitación
Altura del hipocótilo	0.981 <sup>*</sup>	0.823 <sup>*</sup>	0.096	0.725 <sup>*</sup>
Altura total	0.775 <sup>*</sup>	0.866 <sup>*</sup>	0.318	0.689 <sup>*</sup>
Diámetro al cuello de raíz	0.510	0.215	-0.180	0.166

<sup>\*</sup> Significativo al 95%.

b) Efecto de la procedencia a diecinueve semanas de cultivo. No existieron diferencias significativas entre procedencias para el índice de esbeltez y la relación peso seco de tallo/ peso seco radical (Anexo 9). La altura total varió de 37 cm (La Tuza) hasta 44 cm (Tataltepec); mientras que el peso seco radicular varió de 0.69 g (La Tuza) hasta 1.18 g (Tataltepec); el resto de las variables mostraron poca variación entre procedencias (Cuadro 21). A excepción del índice de esbeltez y la relación peso seco de tallo/peso seco radicular, los cuales no presentaron diferencias significativas ( $\alpha= 0.05$ ), para el resto de las variables hubo tres grupos (excepto altura total quién mostró cinco grupos), en las cuales Tataltepec fue la mejor, mientras La Tuza fue la inferior.

Cuadro 21. Comparación de medias y error estandar para variables de brinzales e índices de calidad de planta de 10 procedencias de *E. cyclocarpum* de la Costa de Oaxaca, a 19 semanas de cultivo en vivero.

Procedencia	DC (mm) <sup>†</sup>	ALT (cm)	PSR (g)	PST (g)
Tataltepec	5.17±0.14 <sup>a</sup>	44.07±1.10 <sup>a</sup>	1.180±0.126 <sup>a</sup>	2.268±0.179 <sup>a</sup>
San Pedro	4.98±0.13 <sup>ab</sup>	43.02±1.14 <sup>ab</sup>	1.004±0.095 <sup>ab</sup>	2.025±0.154 <sup>ab</sup>
San Francisco	4.94±0.16 <sup>ab</sup>	41.96±1.29 <sup>abc</sup>	0.964±0.111 <sup>ab</sup>	2.052±0.198 <sup>ab</sup>
Los Limones	4.80±0.14 <sup>ab</sup>	41.51±1.36 <sup>abc</sup>	0.791±0.078 <sup>ab</sup>	1.772±0.149 <sup>ab</sup>
Pinotepa de Don Luis	4.74±0.12 <sup>ab</sup>	40.22±1.20 <sup>abc</sup>	0.838±0.109 <sup>ab</sup>	1.738±0.134 <sup>ab</sup>
El Zarzal	4.67±0.11 <sup>ab</sup>	40.39±0.89 <sup>abc</sup>	0.799±0.069 <sup>ab</sup>	1.781±0.135 <sup>ab</sup>
Colotepec	4.65±0.13 <sup>ab</sup>	39.00±1.21 <sup>bc</sup>	0.859±0.096 <sup>ab</sup>	1.755±0.155 <sup>ab</sup>
Pochutla	4.65±0.13 <sup>ab</sup>	40.01±1.03 <sup>abc</sup>	0.864±0.113 <sup>ab</sup>	1.705±0.153 <sup>ab</sup>
Cortijo	4.60±0.10 <sup>ab</sup>	38.62±0.84 <sup>bc</sup>	0.742±0.065 <sup>ab</sup>	1.609±0.094 <sup>ab</sup>
La Tuza	4.50±0.11 <sup>b</sup>	37.49±1.00 <sup>c</sup>	0.693±0.091 <sup>b</sup>	1.532±0.136 <sup>b</sup>

DC= Diámetro al cuello de raíz, ALT= Altura total, PSR= Peso seco radicular, PST= Peso seco de tallo. <sup>†</sup>Valores seguidos por distinta literal en la misma columna muestran diferencia significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Cuadro 21. (Continuación).

Procedencia	PT (g)	IE	PSTR	ICD
Tataltepec	3.447±0.289 <sup>a</sup>	8.614±0.139 <sup>a</sup>	2.427±0.107 <sup>a</sup>	0.331±0.032 <sup>a</sup>
San Pedro	3.029±0.242 <sup>ab</sup>	8.706±0.140 <sup>a</sup>	2.533±0.137 <sup>a</sup>	0.285±0.024 <sup>ab</sup>
San Francisco	3.016±0.304 <sup>ab</sup>	8.579±0.136 <sup>a</sup>	2.562±0.118 <sup>a</sup>	0.287±0.031 <sup>ab</sup>
Los Limones	2.563±0.222 <sup>ab</sup>	8.689±0.165 <sup>a</sup>	2.669±0.118 <sup>a</sup>	0.236±0.022 <sup>ab</sup>
Pinotepa de Don Luis	2.575±0.235 <sup>ab</sup>	8.513±0.156 <sup>a</sup>	2.665±0.122 <sup>a</sup>	0.243±0.026 <sup>ab</sup>
El Zarzal	2.579±0.198 <sup>ab</sup>	8.702±0.125 <sup>a</sup>	2.459±0.086 <sup>a</sup>	0.238±0.020 <sup>ab</sup>
Colotepec	2.615±0.247 <sup>ab</sup>	8.384±0.121 <sup>a</sup>	2.496±0.128 <sup>a</sup>	0.248±0.024 <sup>ab</sup>
Pochutla	2.569±0.260 <sup>ab</sup>	8.714±0.141 <sup>a</sup>	2.484±0.099 <sup>a</sup>	0.247±0.029 <sup>ab</sup>
Cortijo	2.351±0.152 <sup>b</sup>	8.445±0.121 <sup>a</sup>	2.507±0.095 <sup>a</sup>	0.223±0.017 <sup>ab</sup>
La Tuza	2.225±0.222 <sup>b</sup>	8.345±0.116 <sup>a</sup>	2.583±0.105 <sup>a</sup>	0.210±0.024 <sup>b</sup>

PT= Peso seco total, IE= Índice de esbeltez, PSTR = Peso seco de tallo/ peso seco radicular e ICD= Índice de calidad de Dickson. †Valores seguidos por distinta literal en la misma columna muestran diferencia significativa (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

El efecto de la procedencia sobre diámetro al cuello de raíz y altura ha sido reportado en brinzales de *Pinus oaxacana* (Alba *et al.*, 2003; Zitácuaro y Aparicio, 2004), *Jubaea chilensis* (Moil) Baillon (Forcelledo, 2006) y *Pseudotsuga macrolepis* Flous (Alba *et al.*, 2006) evaluados a cinco meses, doce meses, 249 días y tres años, respectivamente; en brinzales de nueve meses de *Pseudotsuga menziesii* la altura estuvo afectada por la procedencia (Juárez *et al.*, 2006); asimismo, el peso seco radicular y peso seco de tallo de brinzales de *Pinus greggii* de seis meses estuvieron afectados por el origen geográfico de la semilla (Aldrete *et al.*, 2005). Sin embargo, no siempre la procedencia influye en el desarrollo de la planta en vivero, como en el caso de *Pinus hartwegii* (Ortega *et al.*, 2003) y *Nothofagus alessandri* (Santelices *et al.*, 2009).

En *Jubaea chilensis* el efecto de la procedencia probablemente se debe al tamaño de semilla, ya que las semillas grandes poseen más carbohidratos en comparación con las pequeñas (Forcelledo, 2006). Sin embargo, en parota el efecto de tamaño de semilla sobre el tamaño de planta ha sido descartado previamente (cuadro 18). Entre procedencias *Pinus greggii* se encontraron diferencias asociadas a un factor geográfico (Aldrete *et al.*, 2005); mientras que procedencias de *Pseudotsuga menziesii* existe relación entre la altura de la planta y la precipitación del sitio de colecta (Juárez *et al.*, 2006). Lo anterior coincide a lo encontrado en parota, ya que la longitud y latitud están relacionados con el tamaño de la planta; de las variables evaluadas, el peso seco total presentó la mejor correlación (Cuadro 22).

Cuadro 22. Correlaciones entre variables de planta y variables geográficas en 10 procedencias de *E. cyclocarpum* en la Costa de Oaxaca, a 19 semanas de cultivo.

Variables de planta	Variables geográficas y climáticas			
	Longitud	Latitud	Altitud	Precipitación
DC	0.914*	0.822*	0.067	0.592
ALT	0.928*	0.841*	0.114	0.649*
PSR	0.818*	0.793*	0.092	0.426
PST	0.896*	0.781*	-0.004	0.509
PT	0.874*	0.793*	0.034	0.481
IE	0.570	0.501	0.144	0.471
PSTR	-0.130	-0.133	0.306	0.353
ICD	0.833*	0.763*	0.033	0.429

DC= Diámetro al cuello de raíz, ALT= Altura total, PSR= Peso seco radicular, PST= Peso seco de tallo, PT= Peso seco total, IE= Índice de esbeltez, PSTR = Peso seco de tallo/ peso seco radicular e ICD= Índice de calidad de Dickson. \* Significativo al 95%.

Cuando diferentes genotipos se desarrollan en un sitio con ambiente uniforme, cualquier diferencia observada se debe sólo a diferencias genéticas (Furnier, 1997), tal como se ha probado en *Pinus oaxacana* (Zitácuaro y Aparicio, 2004), *Pseudotsuga*

*macrolepis* (Alba *et al.*, 2006) y *Pinus teocote* (Ramírez *et al.*, 2001); por lo que las diferencias observadas en parota probablemente se deban a las diferencias genéticas entre procedencias.

En ocasiones el efecto de la procedencia no se muestra al mismo tiempo sobre las variables de la planta como altura, diámetro, peso seco, entre otros, ya que en *Pinus teocote* dicho efecto se presentó hasta los 7 y 11 meses de cultivo para altura y diámetro, respectivamente (Ramírez *et al.*, 2001); en cambio, en parota existieron diferencias desde el inicio hasta el final del cultivo, lo cual concuerda a lo obtenido en *P. oaxacana* (Alba *et al.*, 2003). Asimismo, el comportamiento en el crecimiento y supervivencia de una procedencia puede mantenerse hasta la etapa de plantación (Alba *et al.*, 2002) haciendo más importante la selección temprana de procedencias vigorosas.

Aunque el efecto de la procedencia sobre altura y diámetro al cuello de raíz se mantuvo hasta el final del cultivo, la jerarquía de las procedencias varió con el tiempo (Anexo 10). Por ejemplo, a las tres semanas de cultivo para altura total la procedencia San Pedro fue la mejor, seguida por Tataltepec, San Francisco y Pochutla, pero a partir de la quinta semana Tataltepec fue la mejor y así se mantuvo hasta el final del cultivo; Los Limones, desde la tercera semana fue la última procedencia, pero a partir de la quinta semana se colocó dentro de las mejores procedencias; Cortijo y La Tuza fueron de las últimas procedencias y así se mantuvieron hasta el final del cultivo (Figura 7). Para el caso del diámetro al cuello de raíz, el comportamiento entre las primeras y las últimas procedencias fue el mismo a lo observado para el crecimiento en altura total (Figura 8).

Es necesario identificar las mejores procedencias en vivero para así acortar el tiempo de selección; sin embargo, es indispensable evaluar su comportamiento en campo, ya que las plantas de una procedencia responden de manera distinta en cada sitio de plantación (Alba *et al.*, 2002). En el presente ensayo con la procedencia Tataltepec se obtuvieron las plantas más grandes (Altura=  $44 \pm 1.10$  cm) y

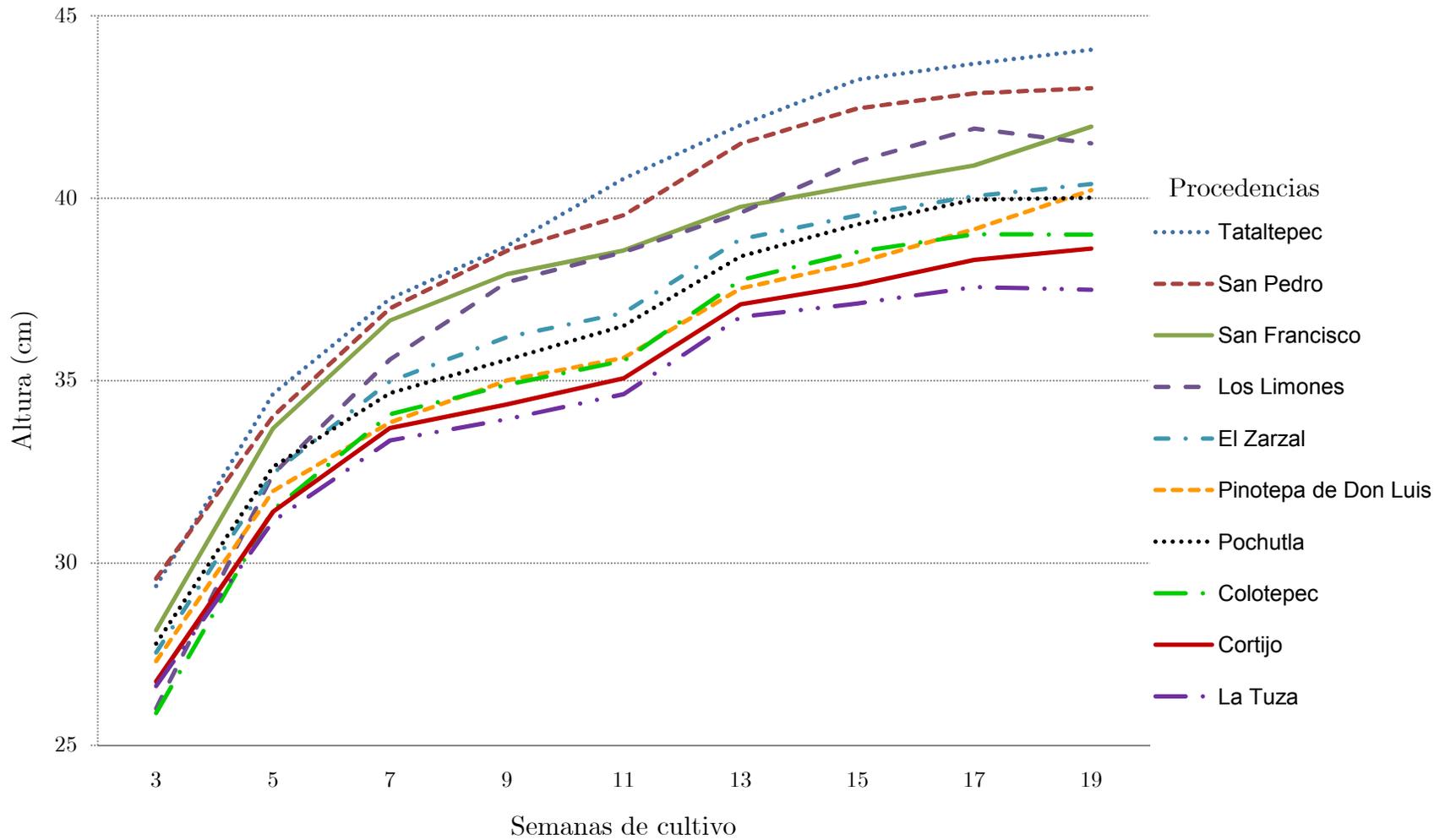


Figura 7. Crecimiento en altura de brinzales de *E. cyclocarpum* de 10 procedencias de la Costa de Oaxaca.

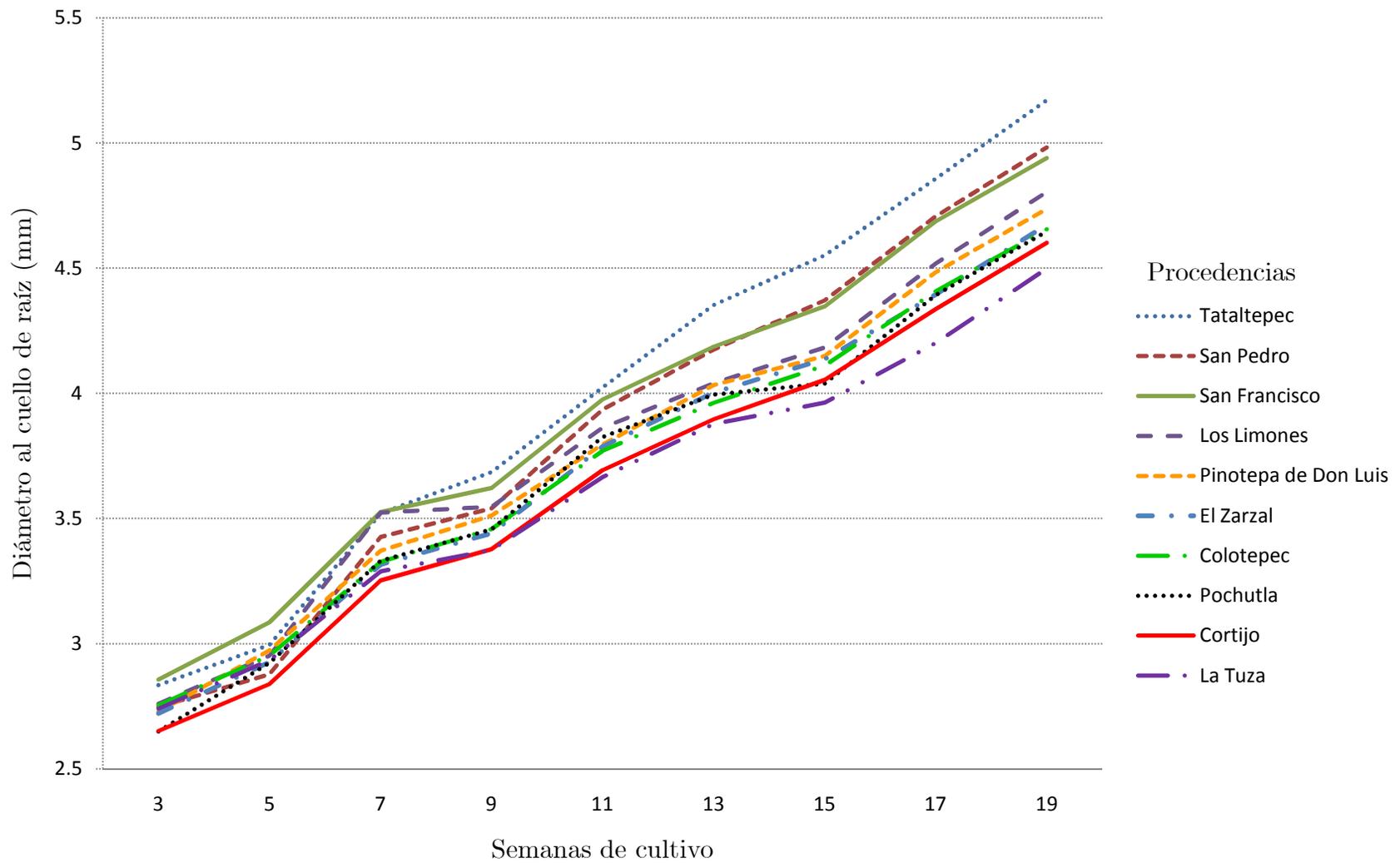


Figura 8. Crecimiento en diámetro de brinzales de *E. cyclocarpum* de 10 procedencias de la Costa de Oaxaca.

equilibradas (Índice de calidad de Dickson= 0.331), y de acuerdo al índice de Dickson esta procedencia podría emplearse en ambientes un poco más secos de la Costa de Oaxaca y para plantaciones de reforestación, ya que presentó crecimiento vigoroso y mayor balance entre tallo y raíz, lo cual es importante en la región Costa de Oaxaca, ya que la temporada de sequía puede durar hasta 6 meses (Trejo, 2004).

Aunque las procedencias La Tuza y Cortijo produzcan plantas más pequeñas y menos proporcionadas, no significa que no deban usarse para repoblaciones forestales, por ello, se recomienda utilizar estas procedencias en sitios más húmedos, ya que la poca cantidad de raíces que poseen no les permitiría obtener óptimos porcentajes de supervivencia en sitios secos, asimismo, sería necesario estimular el crecimiento en raíz.

El tiempo de cultivo es importante en la producción de plata en especies forestales, ya que entre más tiempo se requiera para obtener plantas con las características deseadas, el costo también se incrementa; por ello, la elección correcta de la procedencia podría disminuir la estancia de la planta en vivero. De acuerdo a lo anterior, hubo procedencias que en menor tiempo presentaron alturas y diámetros aceptables para su plantación. Por ejemplo, con Tataltepec se obtuvo brinzales de casi 35 cm en la quinta semana, mientras que para San Pedro y San Francisco esto ocurrió hasta la sexta semana de cultivo. Sin embargo, con semillas procedentes de La Tuza se necesitaron casi doce semanas para lograr esa altura (Figura 7). Asimismo, si se necesitaran brinzales de 40 cm de altura con la procedencias Tataltepec, San Francisco y El Zarzal, se obtendrían hasta la décima, décima tercera y décima séptima semana de cultivo, respectivamente; pero con las procedencias Cortijo y La Tuza no se obtendría esa altura a 19 semanas, y quizás se requiera más tiempo para alcanzar dicho tamaño o bien requieren cultivo especial. Para obtener brinzales de 4 mm de diámetro al cuello de raíz con las procedencias Tataltepec, Pochutla y La Tuza, se requieren de 11, 13 y 15 semanas de cultivo, respectivamente. Ahora bien, si el diámetro necesario fuese de 4.5 mm, Tataltepec y Cortijo necesitarían de 15 y 18

semanas, respectivamente, mientras La Tuza apenas alcanzaría dicho diámetro hasta la semana 19.

Los brinzales de parota están listos para llevarse a campo, cuando éstos tienen un diámetro mayor a 4 mm, y una altura de 35 a 45 cm, ya que brinzales con alturas mayores a 50 cm causan problemas para su manejo, transporte y plantación. Asimismo, la parota por ser una especie con rápido crecimiento, su estancia en vivero de 19 semanas podría disminuirse a 17 semanas de cultivo. Aunque es posible obtener plantas de 35 cm de altura desde la quinta semana, éstas aún no estarían listas para su plantación, ya que aún no estarían lignificadas y con buen sistema radicular (longitud y nodulos fijadores de nitrógeno).

## VII. CONCLUSIONES

Con base a los objetivos planteados al inicio de la presente investigación para parota se concluye lo siguiente:

La variable peso presentó la mayor variación en comparación con largo, ancho y espesor de la semilla. Además, dicha variación no depende de la longitud, latitud, altitud y precipitación del sitio de colecta, ya que no se encontró correlación con estos factores.

En la región Costa existe variación en el tamaño de semillas ya que la procedencia San Pedro tiene semillas más grandes, mientras que las procedencias La Tuza y Cortijo poseen semillas más pequeñas; y por tanto, la procedencia San Pedro tiene menos semillas por kilogramo.

El peso de la semilla está mejor correlacionado con las variables de semilla y planta, en comparación con el largo, ancho y espesor. Asimismo, las semillas de clase mediana son más eficientes en la conversión de nutrientes de semillas a plántulas. Sin embargo, no existen diferencias en la tasa de crecimiento entre los tres tamaños de semilla.

El tamaño de semilla influye en el tamaño de la planta a las tres semanas de cultivo, pero no influye en la calidad de planta obtenida a las diecinueve semanas de cultivo.

La procedencia sí influye en la calidad de planta, por ello con la procedencia Tataltepec se obtuvieron plantas más robustas y equilibradas. Las plantas de la procedencia La Tuza son las más pequeñas y menos equilibradas, por tanto su uso debe limitarse a zonas húmedas y sombreadas.

## VIII. RECOMENDACIONES

### 8.1. Investigaciones

Se recomienda que se realicen investigaciones sobre la variación del tamaño, peso y color de semillas, pero considerando factores edáficos y/o genéticos.

Se deben realizar otros estudios sobre el efecto del tamaño de semilla sobre la calidad de planta, pero debe incluir un testigo conformado por los tres tamaños de semilla.

Es necesario realizar ensayos con *E. cyclocarpum* con mayor cantidad de procedencias, para determinar el o los factores que ocasionan la variación entre las mismas.

Es necesario dar seguimiento a los presentes ensayos para comprobar si las diferencias se mantienen en campo.

Para completar el paquete básico para la producción de planta en vivero de *E. cyclocarpum* es importante que se estudien las implicaciones de la dosis de fertilización y porcentaje de sombra requerido. Aunado a lo anterior, se deben de investigar las plagas y enfermedades que afectan la producción de planta.

### 8.2. Para la producción de planta

Con adecuado manejo, la producción de planta en vivero puede ser de tan sólo 17 semanas de cultivo.

No se debe producir planta de parota durante la temporada de lluvias, ya que la cantidad de plagas y enfermedades que afectan a la planta es alta. Además, es necesario verificar la compatibilidad del fertilizante e insecticida que se utilizan, ya que la parota es muy sensible.

## IX. LITERATURA CITADA

- Agboola, D. A. 1996. The effect of seed size on germination and seedling growth of three tropical tree species. *Journal of Tropical Forest Science* 9: 44-51.
- Alba L., J., L. C. Mendizábal H., E. O. Ramírez G., y M. P. Méndez G. 2002. Establecimiento de tres ensayos de procedencia/progenie de *Pinus teocote* Schl. et Cham. en el Estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 4(2): 17-22.
- Alba L., J., L. C. Mendizábal H., y A. Aparicio R. 2003. Estudio de germinación y plántulas de tres poblaciones de *Pinus oaxacana* Mirov de México. *Foresta Veracruzana* 5(1): 33-38.
- Alba L., J., L. C. Mendizábal H., y O. S. Trujeque R. 2006. Variación en plantas de *Pseudotsuga macrolepsis* Flous de tres procedencias del Estado de Tlaxcala, México. *Foresta Veracruzana* 8(2): 1-6.
- Alba L., J., E. O. Ramírez G., y G. Rojas P. 2006. Variación en semillas de *Pinus greggii* Engelm. en el municipio de Naolinco, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 8(2): 7-12.
- Aldrete, A., Mexal J. G., and J. López U. 2005. Provenance variation and response to chemical root pruning in *Pinus greggii* seedlings. *Agrociencia* 39: 563-574.
- Alía M., R., J. Moro S., y J. B. Denis. 2001. Ensayos de procedencias de *Pinus pinaster* Ait. en el centro de España: resultados a la edad de 32 años. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 10: 333-354.
- Aparicio R., A., H. Cruz J., y J. Alba L. 1999. Efecto de seis sustratos en la germinación de *Pinus patula* Sch. et Cham., *Pinus montezumae* Lam. y *Pinus pseudostrabus* Lindl. en condiciones de vivero. *Foresta Veracruzana* 1(2): 31-36.
- Aráoz, S., O. del Longo, y O. Karlin. 2004. Germinación de semillas de *Ziziphus mistol* Grisebach III. Correlaciones paramétricas del tamaño y peso de drupas, endocarpos y semillas con la germinación y el vigor. *Multequina* 13: 51-56.
- Arizaleta, M., y R. Pire. 2008. Respuesta de plántulas de cafeto al tamaño de la bolsa y fertilización con nitrógeno y fósforo en vivero. *Agrociencia* 42: 47-55.

- Arteaga L., L. 2007. El tamaño de las semillas de *Vismia glaziovii* Ruhl. (Guttiferae) y su relación con la velocidad de germinación y tamaño de la plántula. *Revista Peruana de Biología* 14: 17-20.
- Arteaga M., B., S. León, y C. Amador. 2003. Efecto de la mezcla de sustratos y fertilización sobre el crecimiento de *Pinus durangensis* Martínez en vivero. *Foresta Veracruzana* 5: 9-15.
- Arteaga M. B., y J. Zenil R. 2005. Fertilización en vivero de *Pseudotsuga macrolepis* Flous. *Foresta Veracruzana* 7(1): 41-45.
- Arunachalam, A., M. L. Khan, and N. D. Sing. 2003. Germination, growth and biomass accumulation as influenced by seed size in *Mesua ferrea* L. *Turkish Journal of Botanical* 27: 343-348.
- Avendraño R., S., y I. Acosta R. 2000. Plantas utilizadas como cercas vivas en el estado de Veracruz. *Madera y Bosques* 6: 55-71.
- Ayala C., G., T. Terrazas, L. López M., y C. Trejo. 2004. Variación en el tamaño y peso de la semilla y su relación con la germinación en una población de *Stenocereus beneckeii*. *Interciencia* 29: 692-697.
- Benítez B., G., M. T. P. Pulido S., y M. Equihua Z. 2004. Árboles multiusos nativos de Veracruz para reforestación: restauración y plantaciones. Instituto de Ecología, A.C. SIGOLFO, Comisión Nacional Forestal. Xalapa, Veracruz, México. 288 p.
- Birchler, T., R. W. Rose, A. Arroyo, y M. Pardos. 1998. La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 7: 109-121.
- Bonfil, C. 1998. The effect of size, cotyledon reserves and herbivory of seedling survival and growth in *Quercus rugosa* y *Q. laurina* (Fagaceae). *American Journal of Botany* 1: 79-87.
- Brizuela, M. M., A. D. Burghardr, D. Tanoni, y R. A. Palacios. 2000. Estudio de la variación morfológica en tres procedencias de *Prosopis flexuosa* y su manifestación en el cultivo bajo condiciones uniformes. *Multequina* 9: 7-15.

- Burslem, D. F. R. P., and J. Miller. 2001. Seed size, germination and seedling relative growth rates in three tropical tree species. *Journal of Tropical Forest Science* 13: 148-161.
- Caffarini, P., A. Pelicano, P. Carrizo, y J. H. Lemcoff. 2006. Impacto del estrés hídrico y la procedencia de *Eucalyptus globulus* Labill. sobre el comportamiento de herbivoría de *Acromyrmex lundii* Guérin. *IDESIA* 24: 7-11.
- Camacho M., F. 1994. Métodos de almacenamiento. *Ix: semillas forestales*. Martínez B., A. E. (ed.). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, División Forestal. Coyoacán, D. F. México. pp. 93-102.
- Capinera, J. L. 1979. Qualitative variation in plants and insects: effect of propagule size on ecological plasticity. *The American Naturalist* 114: 350-361.
- Carrasco M., I., J. L. Peñuelas R., L. F. Benito M., P. Villar S., S. Domínguez L., N. Herrero S., y J. L. Nicolás P. 2001. Fertilización convencional y exponencial con diferentes dosis en plantas de *Pinus halepensis* y *Pinus nigra* en contenedor. *Ix: Actas del III Congreso Forestal Español*. Junta de Andalucía (ed.). Consejería de Medio Ambiente. Granada, España. pp: 757-762.
- Castillo C., G., P. Moreno C., M. E. Medina A., y P. Zamora C. 1997. Flora de las Bahías de Huatulco, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar* 1(3): 3-44.
- Di Stefano, J. F., y L. A. Fournier. 1999. Crecimiento de la parte aérea y radicular de plántulas de *Enterolobium cyclocarpum* (Guanacaste), Ciudad Colon, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 23: 77-87.
- 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.
- Dolan, R. W. 1984. The effect of seed size and maternal source on individual size in a population of *Ludwigia leptocarpa* (Onagraceae). *American Journal of Botany* 71: 1302- 1307.
- Domínguez L., S. 1997. La importancia del envase en la producción de plantas forestales. *Quercus* 134: 34-37.

- Domínguez L., S., N. Herrero S., I. Carrasco M., L. Ocaña B., y J. L. Peñuelas R. 1997. Ensayo de diferentes tipos de contenedores para *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster* y *Pinus pinea*: resultados de vivero. *In*: Actas del II Congreso Forestal Español. Puertas F., y Rivas M. (eds.). Pamplona. Mesa 3: 189-194.
- Domínguez L., S., G. Murrias, N. Herrero S., y J. L. Peñuelas R. 2001. Cultivo de once especies mediterráneas en vivero: implicaciones prácticas. *Ecología* 15: 213-223.
- Fernández P., J. R., y V. Almora D. 1989. Silvicultura. Ed. José Miró Argenter. España. 378 p.
- Flores M., A., y G. I. Manzanero M. 1999. Tipos de vegetación del estado de Oaxaca. *In*: Vegetación y Flora. Sociedad y naturaleza en Oaxaca 3. Vásquez D., M. A. (ed.). Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca. Oaxaca, México. pp: 7-45
- Forcelledo G., A. L. 2006. Germinación y calidad de planta de palma chilena (*Jubaea chilensis* (Mol.) Baillon) según sustrato, periodo de siembra y procedencia de semilla. Tesis de licenciatura. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Santiago, Chile. 108 p.
- Francis, J. K. 1988. *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. Guanacaste, earpod-tree. SO-ITF-SM-15. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. New Orleans, L. A, USA. 4 p.
- Francis J. K. 1999. Especies forestales para plantar en áreas forestales, rurales y urbanas de Puerto Rico. General Technical Report. IITF- 13. Río Piedras, Puerto Rico: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry en Río Piedras, Puerto Rico. 88 p.
- Furnier, G. R. 1997. Métodos para medir variación genética en las plantas. *In*: Manejo de Recursos Genéticos Forestales. Vargas H., J. J., B. Bermejo V., y F. T. Leding. (ed.). Colegio de Postgraduados, División de Ciencias Forestales Universidad Autónoma Chapingo. México. pp: 23-36.

- García, M. A. 2006. Control y mejora de la calidad del proceso productivo. Jornada de Difusión y Capacitación para Viveristas Forestales del Noreste de Entre Ríos. INTA. Concordia, Entre Ríos, Argentina. pp: 1-15. Disponible en: [http://www.inta.gov.ar/CONCORDIA/info/documentos/Forestacion/Jornada%20para%20viveristas%20forestales\\_EEA%20Concordia%20julio%20de%202006.pdf](http://www.inta.gov.ar/CONCORDIA/info/documentos/Forestacion/Jornada%20para%20viveristas%20forestales_EEA%20Concordia%20julio%20de%202006.pdf) (Revisado 15 de mayo de 2008).
- García S., J. 2002. Manual de repoblaciones forestales-1. 2a ed. Fundación Conde del Valle de Salazar. ETSIM. Madrid, España. 794 p.
- Gómez C., H., J. Nahed T., A. Tewolde, R. Pinto R., y J. López M. 2006. Áreas con potencial para el establecimiento de árboles forrajeros en el centro de Chiapas. *Técnica Pecuaria en México* 44: 219-230.
- Gopakumar, S., and K. Gopikumar. 1993. Standardisation of containers for growth and vigour of tree seedlings in the nursery. *Journal of Tropical Forest Science* 6: 26-36.
- Green, P. T. 1999. Seed germination in *Chrysophyllum sp. nov.*, a large-seeded rainforest species in north Queensland: effects of seed size, litter depth and seed position. *Australian Journal of Ecology* 24: 608-613.
- Gutiérrez C., L., y J. Dorantes L. 2006. Especies forestales de uso tradicional del estado de Veracruz. Potencialidades de especies con uso tradicional del estado de Veracruz, con opción para establecer plantaciones comerciales. 2003-2004. CONAFOR -CONACYT, Universidad de Veracruz. CD-ROOM. 378 p.
- Hendrix, S. D., E. Nielsen, T. Nielsen, and M. Schutt. 1991. Are seedlings from small seed always inferior to seedlings from large seeds? Effects of seed biomass on seedlings growth in *Pastinaca sativa* L. *New Phytologist* 119: 299-305.
- Hernández V., G., L. R. Sánchez V., y F. Aragón. 2001. Tratamientos pregerminativos en cuatro especies arbóreas de uso forrajero de la selva baja caducifolia de la Sierra de Manantlán. *Foresta Veracruzana* 3(1): 9-15.

- Hughes C., E., and J. A. Stewart. 1990. *Enterolobium cyclocarpum*: The ear pod tree for pasture, fodder, and wood. Forest, Farm, and Community Tree Network. Arkansas, USA.
- Disponible en  
<http://www.winrock.org/fnrm/factnet/factpub/FACTSH/Enterolob.html>  
(revisado el 10 de mayo de 2008)
- Hunt, R., D. R. Causton, B. Shipley, and A. P. Askew. 2002. A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of Botany* 90: 485-488.
- Iglesias D., C. G., y J. Alba L. 2004. Variación de semillas de *Dioon edule* Lindl. (Zamiaceae) en el rancho El Niño, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 6(1): 15-20.
- Indira, E. P., S. C. Basha, and K. C. Chacko. 2000. Effect of seed size grading on the germination and growth of teak (*Tectona grandis*) seedlings. *Journal of Tropical Forest Science* 12: 21-27.
- INEGI. 2002. Síntesis de información geográfica del estado de Oaxaca. Anexo Cartográfico. INEGI. México.
- Janzen, D. H. 1982. Variation in average seed size and fruit seediness in a fruit crop of a guanacaste tree (Leguminosae: *Enterolobium cyclocarpum*). *American Journal of Botany* 69: 1169-1178.
- Johnsen, K. H., y J. E. Major. 1997. Técnicas ecofisiológicas en la evaluación de germoplasma. In: Vargas H., J. J., B. Bermejo V., y F. T. Leding. (ed.). Manejo de Recursos Genéticos Forestales. Colegio de Postgraduados, División de Ciencias Forestales Universidad Autónoma Chapingo. México. pp: 23-36.
- Johnson, C. D. 1984. New host records and notes on the biology of *Stator* (Coleoptera: Bruchidae). *The Coleopterists Bulletin* 38: 85-90.
- Johnson, C. D., and D. H. Siemens. 1995. Bruchid guilds, host preferences, and new host records from Latin America and Texas for the genus *Stator* Bridwell (Coleoptera: Bruchidae). *The Coleopterists Bulletin* 49: 133-142.

- Juárez A., A., J. López U., J. J. Vargas H., C. Sáenz R. 2006. Variación geográfica en la germinación y crecimiento inicial de plántulas de *Pseudotsuga menziesii* de México. *Agrociencia* 40: 783-792.
- Kannan, D., and K. Paliwal. 1995. Effect of nursery fertilization on *Cassia siamea* seedling growth and its impact on early field performance. *Journal of Tropical Forest Science* 8: 203-212.
- Khan, M. L., P. Bhuyan, and N. D. Singh. 2002. Fruit set, seed germination and seedling growth of *Mesua ferrea* (Clusiaceae) in relation to light intensity. *Journal of Tropical Forest Science* 14: 35-48.
- Khurana, E., and J. S. Singh. 2000. Influence of seed size on seedlings growth of *Albizia procera* under different soil water levels. *Annals of Botany* 86: 1185-1192.
- Khurana, E., and J. S. Singh. 2001. Ecology of tree seed and seedlings: Implications for tropical forest conservation and restoration. *Current Science* 80: 748-757.
- Krause F., R. W. 2005. Efecto de la dosis de fertilizantes solubles a base de N, P, K sobre el crecimiento en vivero de plantas de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst, producidas en contenedor tipo speedling. Tesis de licenciatura. Universidad Católica de Temuco. Temuco, Chile. 61 p.
- Lopes, E. D. 2005. Qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla*, *E. camaldulensis* e *E. citriodora* produzidas em blocos prensados e em dois modelos de tubetes e seu desempenho no campo. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Vitória da Conquista, Bahia, Brasil. 82 p.
- Malavasi, M. M. de, y U. C. Malavasi. 1995. Effect of seed size on seedling growth of a shade-tolerant tropical tree (*Hymanea stilbocarpa* Hayne). *Tree Planters' Notes* 46: 131-133.
- Mamo, N., M. Mihretu, M. Fekadu, M. Tigabu, and D. Teketay. 2006. Variation in seed and germination characteristics among *Juniperus procera* populations in Ethiopia. *Forest Ecology and Management* 225: 320-327.

- Mandal, S. M., D. Chakraborty, and K. Gupta. 2008. Seed size variation: Influence on germination and subsequent seedling performance in *Hyptis suaveolens* (Lamiaceae). *Research Journal of Seed Science* 1: 23-33.
- Manonmani, V., and K. Vanangamudi. 2002. Effect of seed source and size on seed germination and seedling vigour of sandal (*Santalum album*). *Journal of Tropical Forest Science* 14: 150-155.
- Manonmani, V., K. Vanangamudi, and R. S. V. Rai. 1996. Effect of seed size on seed germination and vigour in *Pongamia pinnata*. *Journal of Tropical Forest Science* 9: 1-5.
- Márquez R., J., L. C. Mendizábal H., y C. I. Flores R. 2005. Variación en semillas de *Quercus oleoides* Schl. et Cham. de tres poblaciones del centro de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 7(1): 31-36.
- Martínez B., R. D. 2001. Reforestación con diez especies arbóreas nativas bajo fertilización en Tabasco. Tesis de maestría. Instituto de Biología. Universidad Autónoma de México. México. 83 p.
- Méndez G., M. P., L. Mendizábal H., y J. Alba L. 2001. Variación de semillas de *Pinus oaxacana* Mirov procedentes de dos colectas de una población natural del estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 3 (2): 19-24.
- Mendizabal H., L. C. del, J. Alba L., y M. I. Cabrera C. 2006. Variación de semillas de *Pinus patula* Schl. et Cham. con respecto a su posición en el fruto. *Foresta Veracruzana* 8(1): 13-16.
- Mema, V., A. Garau, y J. Lemcoff. 2003. Fertilización de *Eucalyptus globulus* y *E. camaldulensis* en vivero: modificaciones inducidas por diferentes niveles de fertilización nitrogenada y potásica y su efecto sobre el estrés de plantación. *Concordia XVIII Jornadas Forestales*.
- Disponible en: <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/forestacion/biblos/pdf/2003/posters03/195%20Mema-Garau-Lemcoff.pdf> (Revisado el 15 de mayo de 2008)

- Moegenburg, S. M. 1996. *Sabal palmetto* seed size: causes of variation, choices of predators, and consequences for seedlings. *Oecología* 106: 539-543.
- Moreno C., P., D. Infante M., A. C. Travieso B., y C. Madero V. 2009. Manual para la reforestación de los méndanos. Instituto de Ecología A. C. CONAFOR y CONACYT. Xalapa, Ver. México. 100 p.
- Munsell. 2002. Soil color chart. Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation. Newburg, New York.
- Niembro R., A., I. Morato, y J. A. Cuevas S. 2004. Catálogo de frutos y semillas de árboles y arbustos de valor actual y potencial para el desarrollo forestal de Veracruz y Puebla. Reporte final del proyecto CONACyT-CONAR-2002-C01-5741. Veracruz, México. CD
- Ocaña B., L., S. Domínguez L., I. Carrasco M., J. L. Peñuelas R., y N. Herrero. 1997. Influencia del tamaño de la semilla y diferentes dosis de fertilización sobre el crecimiento y supervivencia en campo de cuatro especies forestales. *Iz: Actas del II Congreso Forestal Español*. Puertas F., y Rivas M. (eds.). Pamplona. Mesa 3: 461-466.
- Ortega M., A., L. Mendizábal H., J. Alba L., y A. Aparicio R. 2003. Germinación y crecimiento inicial de *Pinus hartwegii* Lindl. de siete poblaciones del Estado de México. *Foresta Veracruzana* 5(2): 29-34.
- Parent, G. 1997. Guía de reforestación. Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaranga. Bucaranga, Colombia. pp: 102-103.
- Pastorino, J. M., y L. A. Gallo. 2000. Variación geográfica en peso de semilla en poblaciones naturales argentinas de "Ciprés de la Cordillera". *Bosque* 21: 95-109.
- Peñuelas R., J. L., y M. J. Cardeso G. 1993. Los sustratos en la producción de planta forestal. *Montes* 32: 37-41.
- Pennington T. D., y J. Sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies. 3a ed. Fondo de Cultura Económica. México. 523 p.

- Phillips, M. W. 1989. Relación entre la posición de la semilla en frutos de cacao (*Theobroma cacao*), su longitud y el diámetro y altura de las plántulas. *Turrialba* 39: 530-533.
- Prieto R., J. A., P. A. Domínguez C., E. H. Cornejo O., J. J. Návar C., J. Jiménez P., y J. G. Marmolejo M. 2002. Efecto de la fertilización en la producción de planta de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero. *Ciencia Forestal en México* 27(92): 79-94.
- Quiroz M., I., L. Flores M., M. Pincheira B., y A. Villarroel M. 2001. Manual de viverización y plantación de especies nativas. Instituto Forestal. Valdivia, Chile. 160 p.
- R Development Core Team. 2009. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Ramírez G., E. O., J. Alba L., y L. C. Méndizábal H. 2001. Evaluación en vivero de un ensayo de procedencias/progenie de *Pinus teocote* Schl & Cham. *Foresta Veracruzana* 3(1): 27-34.
- Ramos S., Y., L. Mendizábal H., y V. Rebolledo C. 2003. Variación en semilla de cinco poblaciones de *Pinus jaliscana* Pérez de la Rosa. *Foresta Veracruzana* 5: 35-40.
- Reyes B., Z., y D. A. Rodríguez T. 2005. Efecto de la luz, temperatura y tamaño de semilla en la germinación de *Nolina parviflora* (H.B.K.) Hemsl. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 11: 99-104.
- Reyes R., J., A. Alderete, V. M. Cetina Alcalá, y J. López U. 2005. Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. *acapulcensis*. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 11: 105-110.
- Rocha, O. J., and G. Aguilar. 2001. Reproductive biology of the dry forest tree *Enterolobium cyclocarpum* (guanacaste) in Costa Rica: a comparison between trees left in pastures and trees in continuous forest. *American Journal of Botany* 88: 1607-1614.

- Rodarte G., R. 1997. Ecosistemas y biodiversidad en la costa oaxaqueña. *Ciencia y Mar* 1(2): 44-48.
- Rodríguez T., D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Mundi Prensa. México. 156 p
- Rojas, F. 2002. Metodología para la evaluación de calidad de plántulas de ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.) en vivero. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 8: 75-81.
- Roy, S. K. S., A. Hamid, M. Giashuddin M., and A. Hashem. 1996. Seed size variation and its effects on germination and seedling vigour in rice. *Journal Agronomy & Crop Science* 176: 79-82.
- Royal Horticultural Society. 2007. RHS color chart. 5 ed. Royal Horticultural Society. London.
- Royo, A., M. Fernández, L. Gil, E. González, A. Puelles, R. Ruano, y J. A. Pardos. 1997. Calidad de la planta de vivero de *Pinus halepensis* Mill. destinada a repoblación forestal. Tres años de resultados en la comunidad valenciana. *Montes* 50: 29-39.
- Ruano M., J. R. 2003. Viveros forestales: Manual de cultivo y proyectos. Mundi-Prensa. Madrid, España. 281 p.
- Sáenz R., J. A., y L. A. Fournier O. 1982. *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Gris., un nuevo hospedero para *Ravenalia lagerheimiana* Diet. *Turrialba* 32: 333-336.
- Salas M., S. H., A. Saynes V., y L. Schibli. 2003. Flora de la costa de Oaxaca, México: lista florística de la región de Zimatán. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 72: 21-58.
- Salas M., S. H., L. Schibli, A. Nava Z., y A. Zaynes V. 2007. Flora de la costa de Oaxaca México (2): lista florística comentada del Parque Nacional Huatulco. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 81: 101-130.
- Sánchez S., J., J. Flores, y E. Martínez G. 2006. Efecto del tamaño de semilla en la germinación de *Astrophytum myriostigma* Lemaire. (Cactaceae), especie amenazada de extinción. *Interciencia* 31: 371-375.

- Santelices M., R., R. M. Navarro C., y F. Drake A. 2009. Caracterización del material forestal de reproducción de cinco procedencias de *Nothofagus alessandrii* Espinosa, una especie en peligro de extinción. *Interciencia* 34: 113-120.
- SAS. 2002. SAS versión 9.0. Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Schinelli C., T. 2005. Fertilización en plantines de pino ponderosa respuesta en plantación. *Informaciones Agronómicas* 26: 20-22.
- Seiwa K. 2000. Effects of seed size and emergence time on tree seedling establishment: importance of developmental constraints. *Oecologia* 123: 208-215.
- Seppänen, P., E. I. Sánchez, y J. A. Wright. 1999. Ensayos de especies y procedencias en el Oeste de México: Resultados del primer año. *Foresta Veracruzana* 1(2): s/p.
- Serrada H., R., R. M. Navarro C., y J. Pemán G. 2005. La calidad de las repoblaciones forestales: una aproximación desde la selvicultura y la ecofisiología. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 14: 462-481.
- Serratos A., J. C., Carreón A., H. Castañeda V., P. Garzón De M., y J. García E. 2008. Composición químico-nutricional y de factores antinutricionales en semillas de parota. *Interciencia* 33: 850-854.
- Shankar, U. 2006. Seed size as a predictor of germination success and early seedling growth in “hollong” (*Dipterocarpus macrocarpus* Vesque). *New Forest* 31: 305-320.
- Somarriba, E., y O. Ferreiro. 1984. Efecto de tres tratamientos pregerminativos sobre la germinación y viabilidad de las semillas de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. *Turrialba* 32: 99-101.
- Sosa P., G., y D. A. Rodríguez T. 2003. Efecto de la calidad de planta en la supervivencia y crecimiento de *Pinus patula* en un área quemada. *Revista Chapingo. Serie de Ciencias Forestales y del Ambiente* 9: 35-43.
- Tenorio G., G., D. A. Rodríguez T., y G. López R. 2008. Efecto del tamaño y color de la semilla en la germinación de *Cecropia obtusifolia* Bertol (Cecropiaceae). *Agrociencia* 42: 585-593.

- Thompson, B. E. 1985. Seedling morphological evaluation -- what you can tell by looking. *In*: Proceeding: evaluation seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of mayor test. Duryea, M. L. (ed.). Oregon State University. Corvallis, Oregon. U.S.A. pp 59-71.
- Toral I., M. 1997. Documentos técnicos 1. Conceptos de calidad de planta en viveros forestales. Programa de Desarrollo Forestal Integral de Jalisco. Jalisco, México. 28 p.
- Toral I., M., D. Campos R., A. Fratti B., y R. Varela O. 2000. Documento técnico. Manual de producción de plantas forestales en contenedores. Programa de Desarrollo Forestal Integral de Jalisco. Jalisco, México. 204 p.
- Torres C., R. 2004. Tipos de vegetación. *In*: Biodiversidad de Oaxaca. A. J. García M., M. J. Ordóñez, y M. Briones S. (eds.). Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund. México. pp: 105-117.
- Trejo, I. 2004. Clima. *In*: Biodiversidad de Oaxaca. A. J. García M., M. J. Ordóñez, y M. Briones S. (eds.). Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund. México. pp: 67-85.
- UAM. 2003. Evaluación externa del programa nacional de reforestación (PRONARE) en el estado de Tlaxcala. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 67 p.
- Upadhaya, K., H. N. Pandey, and P. S. Law. 2007. The effect of seed mass on germination, seedling survival and growth in *Prunus jenkinsii* Hook. f. & Thoms. Turkish Journal of Botany 31: 31-36.
- Valenzuela, O., C. Gallardo, M. Alorda, M. A. García, y D. García. 2005. Características de los sustratos utilizados por los viveros forestales. IDIA XXI 8: 55-57.
- Vázquez Y., C., y B. Pérez G. 1977. Notas sobre la morfología, la anatomía de la testa y la fisiología de las semillas de *Enterolobium cyclocarpum*. Turrialba 27: 427-430.

- Vázquez Y., C., A. I. Batis M., M. I. Alcocer S., M. Gual D., y C. Sánchez D. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO - Instituto de Ecología, UNAM. México. pp: 161-164.
- Viana, J. S., E. P. Gonçalves, L. A. Andrade de, L. S. B. Oliveira de, y E. O. Silva de. 2008. Crecimiento de mudas de *Bauhinia forficata* Link. em diferentes tamanhos de recipientes. Floresta 38: 636-671.
- Villalobos, F., y G. Bianchi. 2000. Abortos de semillas de *Enterolobium cyclocarpum* (Mimosoideae): Efecto de la posición relativa dentro del fruto. Revista Biología Tropical 48: 587-589.
- Villar S., P., S. Domínguez L., J. L. Peñuelas R., I. Carrasco M., N. Herrero S., J. L. Peragón, y L. Ocaña B. 2000. Plantas grandes y mejor nutridas de *Pinus pinea* tienen mejor desarrollo en campo. *In*: Actas del 1er Simposio sobre pino piñonero. Junta de Castilla y León (ed.). Valladolid, España. Tomo 1: 219-227.
- Villar S., P., R. Planelles, E. Enríquez, J. L. Peñuelas R., y J. Zazo M. 2001. Influencia de la fertilización y el sombreado en el vivero sobre la calidad de planta de *Quercus ilex* L. y su desarrollo en campo. Actas del III Congreso Forestal Español. Junta de Andalucía (ed.). Consejería de Medio Ambiente. Granada, España. Mesa 3: 770-776.
- Willan, R. L. 1991. Guía para la manipulación de semillas forestales. Estudio FAO, Montes 20/2. Roma, Italia. 502 p.
- Zavala Z., D., y G. Trujillo A. 1993. Análisis del proceso de calentamiento de trocería para la producción de chapa. Revista Ciencia Forestal en México 18: 139-162.
- Zhang J., and M. A. Maun. 1991. Establishment and growth of *Panicum virgatum* L. seedling on a lake Erie sand dune. Bulletin of the Torrey Botanical Club 118: 141- 153.
- Zitácuaro C., F. H., y A. Aparicio R. 2004. Variación de altura y diámetro de plántulas de *Pinus oaxacana* Mirov de tres poblaciones de México. Foresta Veracruzana 6(1): 21-26.

Zobel, B. y Talbert J. 1992. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. 1a reimpresión. LIMUSA. México. 545 p.

## Anexo 1. Especies utilizadas en la discusión de los resultados.

Familia	Especie	Forma de vida
Arecaceae	<i>Jubaea chilensis</i> <sup>3</sup>	Arborescente
Aracaceae	<i>Sabal palmetto</i> <sup>2</sup>	Arborescente
Cactaceae	<i>Stenocereus beneckeii</i> <sup>2</sup>	Planta suculenta
Cecropiaceae	<i>Cecropia obtusifolia</i> <sup>1,2</sup>	Árbol
Clusiaceae	<i>Mesua ferrea</i> <sup>2</sup>	Árbol
Cupressaceae	<i>Juniperus procera</i> <sup>1</sup>	Árbol
Cupressaceae	<i>Austrocedrus chilensis</i> <sup>1</sup>	Árbol
Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus macrocarpus</i> <sup>2</sup>	Árbol
Fabaceae	<i>Hymenaea stilbocarpa</i> <sup>2</sup>	Árbol
Fabaceae	<i>Pongamia pinnata</i> <sup>2</sup>	Árbol
Fabaceae	<i>Albizia procera</i> <sup>3</sup>	Árbol
Fabaceae	<i>Pericopsis elata</i> <sup>2</sup>	Árbol
Fabaceae	<i>Azelia africana</i> <sup>2</sup>	Árbol
Fagaceae	<i>Quercus oleoides</i> <sup>1</sup>	Árbol
Fagaceae	<i>Quercus rugosa</i> <sup>2</sup>	Árbol
Fagaceae	<i>Quercus laurina</i> <sup>2</sup>	Árbol
Fagaceae	<i>Quercus ilex</i> <sup>2</sup>	Árbol
Guttiferae	<i>Vismia glaziovii</i> <sup>2</sup>	Árbol
Lamiaceae	<i>Hyptis suaveolens</i> <sup>2</sup>	Herbácea
Malvaceae	<i>Theobroma cacao</i> <sup>2</sup>	Árbol
Nolinaceae	<i>Nolina parviflora</i> <sup>1</sup>	Arborescente
Nothofagaceae	<i>Nothofagus alessandrii</i> <sup>1</sup>	Árbol
Onagraceae	<i>Ludwigia leptocarpa</i> <sup>2</sup>	Herbácea
Pinaceae	<i>Pinus jaliscana</i> <sup>1</sup>	Árbol
Pinaceae	<i>Pinus oaxacana</i> <sup>1,3</sup>	Árbol
Pinaceae	<i>Pseudotsuga menziesii</i> <sup>1,3</sup>	Árbol
Pinaceae	<i>Pinus teocote</i> <sup>1,3</sup>	Árbol
Pinaceae	<i>Pinus pinea</i> <sup>2</sup>	Árbol
Pinaceae	<i>Pinus pinaster</i> <sup>2</sup>	Árbol
Pinaceae	<i>Pinus sylvestris</i> <sup>2</sup>	Árbol
Pinaceae	<i>Pinus hartwegii</i> <sup>3</sup>	Árbol
Pinaceae	<i>Pseudotsuga macrolepsis</i> <sup>3</sup>	Árbol
Poaceae	<i>Panicum virgatum</i> <sup>2</sup>	Herbácea
Rhamnaceae	<i>Ziziphus mistol</i> <sup>2</sup>	Árbol
Santalaceae	<i>Santalum album</i> <sup>2</sup>	Árbol
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum sp.</i> <sup>2</sup>	Árbol
Umbeliferae	<i>Pastinaca sativa</i> <sup>2</sup>	Herbácea
Verbenaceae	<i>Gmelina arborea</i> <sup>2</sup>	Árbol
Verbenaceae	<i>Tectona grandis</i> <sup>2</sup>	Árbol

<sup>1</sup>Variación de semillas. <sup>2</sup>Efecto de tamaño de semilla. <sup>3</sup>Efecto de la procedencia.

Anexo 2. Análisis de varianza para largo, ancho, espesor y peso de semilla de 10 procedencias de *E. cyclocarpum* de la Costa de Oaxaca.

Variable	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Significancia
Largo	Tratamiento	9	326.490	36.277	20.39	<0.0001
	Error	990	1761.744	1.780		
	Total correcto	999	2088.234			
Ancho	Tratamiento	9	52.614	5.846	9.00	<0.0001
	Error	990	643.152	0.650		
	Total correcto	999	695.767			
Espesor	Tratamiento	9	33.688	3.743	9.86	<0.0001
	Error	990	475.641	0.379		
	Total correcto	999	409.329			
Peso	Tratamiento	9	4.037	0.449	21.40	<0.0001
	Error	990	20.747	0.021		
	Total correcto	999	24.784			

Anexo 3. Análisis de varianza para tres tamaños de semilla de *E. cyclocarpum* de la procedencia San Francisco.

Variable	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Significancia
Largo	Tratamiento	2	5866.19	2933.10	4036	<0.0001
	Error	1172	851.53	0.73		
	Total correcto	1174	6717.73			
Ancho	Tratamiento	2	723.55	361.78	632.56	<0.0001
	Error	1172	670.29	0.57		
	Total correcto	1174	1393.85			
Espesor	Tratamiento	2	109.78	54.89	104.26	<0.0001
	Error	1172	617.02	0.53		
	Total correcto	1174	726.80			
Peso	Tratamiento	2	34.95	17.48	2347.24	<0.0001
	Error	1172	8.73	0.01		
	Total correcto	1174	43.68			

Anexo 4. Análisis de varianza en tres tamaños de semilla de *E. cyclocarpum*, para las variables de peso seco de semilla, índice de transformación y contenido de agua.

Variable	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Significancia
Peso seco de semilla	Tratamiento	2	3.77	1.88	253.73	<0.0001
	Error	297	2.20	0.01		
	Total correcto	299	5.97			
Peso seco de la testa	Tratamiento	2	1.06	0.53	478.31	<0.0001
	Error	297	0.33	0.00		
	Total correcto	299	1.40			
Peso seco de la semilla sin testa	Tratamiento	2	0.83	0.41	125.78	<0.0001
	Error	297	0.99	0.00		
	Total correcto	299	1.82			
Índice de transformación	Tratamiento	2	0.20	0.10	7.21	0.0135
	Error	9	0.13	0.01		
	Total correcto	11	0.33			
Contenido de agua	Tratamiento	2	0.05	0.02	72.86	<0.0001
	Error	297	0.11	0.00		
	Total correcto	299	0.16			
Peso seco de testa (%)	Tratamiento	2	474.05	237.03	53.32	<0.0001
	Error	297	1320.18	4.45		
	Total correcto	299	1794.25			
Peso seco de la semilla sin testa (%)	Tratamiento	2	488.46	244.23	38.93	<0.0001
	Error	297	1863.17	6.27		
	Total correcto	299	2351.62			
Contenido de agua	Tratamiento	2	3.77	1.88	253.73	<0.0001
	Error	297	2.20	0.00		
	Total correcto	299	5.97			

Anexo 5. Análisis de varianza para el efecto de tamaño de semilla sobre el tamaño de planta de *E. cyclocarpum* a tres semanas de cultivo en vivero.

Variable	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Significancia
Diámetro al cuello de raíz	Tratamiento	2	0.73	0.37	4.77	0.0095
	Error	197	15.10	0.08		
	Total correcto	199	15.83			
Altura del hipocótilo	Tratamiento	2	139.17	69.59	42.22	<0.0001
	Error	197	324.71	1.65		
	Total correcto	199	463.89			
Altura total	Tratamiento	2	1484.27	742.13	56.06	<0.0001
	Error	197	2608.01	13.24		
	Total correcto	199	4092.28			
Peso seco radical	Tratamiento	2	0.0005	0.00025	6.44	0.002
	Error	197	0.008	0.00004		
	Total correcto	199	0.008			
Peso seco de tallo	Tratamiento	2	0.17	0.09	48.11	<0.0001
	Error	197	0.36	0.00		
	Total correcto	199	0.53			
Peso seco total	Tratamiento	2	0.18	0.091	43.08	<0.0001
	Error	197	0.42	0.002		
	Total correcto	199	0.60			
Índice de esbeltez	Tratamiento	2	106.39	53.20	37.01	<0.0001
	Error	197	283.12	1.44		
	Total correcto	199	389.51			
Índice de vigor	Tratamiento	2	10.14	5.07	24.43	<0.0001
	Error	197	40.90	0.21		
	Total correcto	199	51.04			
Peso seco de tallo/ peso seco radicular	Tratamiento	2	273.29	136.64	28.12	<0.0001
	Error	197	957.36	4.86		
	Total correcto	199	1230.64			

Anexo 6. Análisis de varianza para el efecto de tamaño de semilla sobre el tamaño de planta de *E. cyclocarpum* a 19 semanas de cultivo en vivero.

Variable	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Significancia
Diámetro al cuello de raíz	Tratamiento	2	0.31	0.16	0.50	0.6067
	Error	160	50.26	0.31		
	Total correcto	162	50.57			
Altura total	Tratamiento	2	1133.38	566.69	26.21	<0.0001
	Error	160	3459.97	21.62		
	Total correcto	162	4593.35			
Peso seco radicular	Tratamiento	2	0.06	0.03	1.48	0.23
	Error	160	3.40	0.02		
	Total correcto	162	3.45			
Peso seco de tallo	Tratamiento	2	0.53	0.26	0.95	0.38
	Error	160	44.25	0.28		
	Total correcto	162	44.77			
Peso seco total	Tratamiento	2	0.95	0.48	1.10	0.34
	Error	160	69.43	0.43		
	Total correcto	162	70.38			
Índice de esbeltez	Tratamiento	2	0.95	0.48	1.10	0.34
	Error	160	69.43	0.43		
	Total correcto	162	70.38			
Peso seco de tallo/ peso seco radicular	Tratamiento	2	0.40	0.20	0.18	0.84
	Error	160	180.40	1.13		
	Total correcto	162	180.80			
Índice de calidad de Dickson	Tratamiento	2	0.001	0.0006	0.24	0.79
	Error	160	0.412	0.0025		
	Total correcto	162	0.413			

Anexo 7. Análisis de varianza para el crecimiento en altura y diámetro de brinzales de *E. cyclocarpum* de tres tamaños de semilla, cultivados durante 19 semanas.

Variable	Error	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Significancia
Altura	Procedencia	Tratamiento	2	16212	8106	51.93	$<2.2 \times 10^{-16}$
		Residuales	212	33092	156		
	Periodo	Tiempo	8	22728.5	2841.1	957.37	$2.2 \times 10^{-16}$
		Tratamiento(tiempo)	16	95.7	6.0	2.02	0.0098
Diámetro	Procedencia	Tratamiento	2	3.18	1.59	1.35	0.26
		Residuales	212	249.00	1.18		
	Periodo	Tiempo	5	162.01	32.40	242.51	$<2 \times 10^{-16}$
		Tratamiento(tiempo)	10	3.05	0.31	2.286	0.01
		Residuales	1060	141.63	0.13		

Anexo 8. Análisis de varianza para el efecto de la procedencia sobre el tamaño de planta de *E. cyclocarpum* de la Costa de Oaxaca, a tres semanas de cultivo en vivero.

Variable	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Significancia
Altura del hipocótilo	Tratamiento	2	0.31	0.16	0.50	0.6067
	Error	160	50.26	0.31		
	Total correcto	162	50.57			
Altura total	Tratamiento	2	1133.38	566.69	26.21	<0.0001
	Error	160	3459.97	21.62		
	Total correcto	162	4593.35			
Diámetro al cuello de raíz	Tratamiento	2	0.06	0.03	1.48	0.23
	Error	160	3.40	0.02		
	Total correcto	162	3.45			

Anexo 9. Análisis de varianza para el efecto de la procedencia sobre el tamaño de planta de *E. cyclocarpum* de la Costa de Oaxaca, a 19 semanas de cultivo en vivero.

Variable	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Significancia
Diámetro al cuello de raíz	Tratamiento	9	22.41	2.49	2.57	0.0067
	Error	585	567.53	0.97		
	Total correcto	594	589.94			
Altura total	Tratamiento	9	2215.01	246.11	3.30	0.0006
	Error	585	43607.08	74.54		
	Total correcto	594	45822.08			
Peso seco radicular	Tratamiento	9	10.86	1.21	2.15	0.0238
	Error	585	327.92	0.56		
	Total correcto	594	338.78			
Peso seco de tallo	Tratamiento	9	26.83	2.98	2.19	0.0210
	Error	585	795.12	1.36		
	Total correcto	594	821.96			
Peso seco total	Tratamiento	9	70.52	7.84	2.27	0.0166
	Error	585	2017.51	3.45		
	Total correcto	594	2088.03			
Índice de esbeltez	Tratamiento	9	10.54	1.17	1.05	0.3986
	Error	585	652.74	1.12		
	Total correcto	594	663.29			
Peso seco de tallo/ peso seco radicular	Tratamiento	9	3.54	0.39	0.53	0.8568
	Error	585	438.84	0.75		
	Total correcto	594	442.39			
Índice de calidad de Dickson	Tratamiento	9	0.69	0.08	2.05	0.0323
	Error	585	21.88	0.04		
	Total correcto	594	22.57			

Anexo 10. Análisis de varianza para el crecimiento en altura y diámetro de brinzales de *E. cyclocarpum* de diez procedencias, cultivados durante 19 semanas.

Variable	Error	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Significancia
Altura	Procedencia	Tratamiento	9	13671	1519	4.28	$2.08 \times 10^{-5}$
		Residuales	585	207393	355		
	Periodo	Tiempo	8	87155	10894	1061.48	$2.2 \times 10^{-16}$
		Tratamiento(tiempo)	72	1438	20	1.95	$3.55 \times 10^{-6}$
		Residuales	4680	48032	10		
Diámetro	Procedencia	Tratamiento	9	73.67	8.19	2.94	0.002
		Residuales	585	1629.03	2.78		
	Periodo	Tiempo	8	2224.9	278.11	1757.70	$< 2.2 \times 10^{-16}$
		Tratamiento(tiempo)	72	21.84	0.30	1.92	$6.02 \times 10^{-6}$
		Residuales	4680	740.50	0.16		