



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
ECOLOGÍA Y CONSERVACIÓN

FACULTAD DE BIOLOGÍA

“EFECTO DE LA FRAGMENTACIÓN DEL BOSQUE EN EL VIGOR DE PROGENIE  
Y ESTABLECIMIENTO TEMPRANO DE *Tabebuia rosea*.”

**TESIS**

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA

**BIÓL. MARCOS ADRIÁN SANDOVAL SOTO**

Directora de tesis:

Doctora en Ciencias Biológicas Yvonne Herrerías Diego

Morelia, Michoacán. Marzo 2017.



**ÍNDICE**

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	3
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	5
<b>2. METODOLOGÍA</b> .....	11
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	20
<b>4. CONCLUSIÓN</b> .....	46
<b>5. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	47

**ÍNDICE DE CUADROS**

<b>Cuadro 1</b> .....	<b>29</b>
-----------------------	-----------

**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1</b> .....	<b>11</b>
<b>Figura 2</b> .....	<b>14</b>
<b>Figura 3</b> .....	<b>21</b>
<b>Figura 4</b> .....	<b>23</b>
<b>Figura 5</b> .....	<b>23</b>
<b>Figura 6</b> .....	<b>24</b>
<b>Figura 7</b> .....	<b>25</b>
<b>Figura 8</b> .....	<b>27</b>
<b>Figura 9</b> .....	<b>27</b>
<b>Figura 10</b> .....	<b>28</b>
<b>Figura 11a</b> .....	<b>31</b>
<b>Figura 11b</b> .....	<b>31</b>
<b>Figura 12</b> .....	<b>32</b>
<b>Figura 13</b> .....	<b>32</b>
<b>Figura 14</b> .....	<b>33</b>
<b>Figura 15</b> .....	<b>36</b>
<b>Figura 16</b> .....	<b>36</b>
<b>Figura 17</b> .....	<b>37</b>
<b>Figura 18</b> .....	<b>38</b>
<b>Figura 19</b> .....	<b>40</b>
<b>Figura 20</b> .....	<b>40</b>
<b>Figura 21</b> .....	<b>41</b>
<b>Figura 22</b> .....	<b>42</b>
<b>Figura 23</b> .....	<b>45</b>

## RESUMEN

El bosque tropical seco (BTS) presenta una amplia distribución a nivel mundial, sin embargo, a causa de la fragmentación este ecosistema se ha visto severamente afectado. Por lo cual, el objetivo en este trabajo fue evaluar el efecto que tiene la fragmentación del hábitat en el vigor de la progenie y en el establecimiento temprano de plántulas de *Tabebuia rosea*, en condiciones de invernadero y campo. El sitio de estudio se encuentra en la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala. Seleccionamos 20 árboles en sitios de bosque continuo y en fragmentados. Se recolectaron cinco frutos de cada individuo y 24 semillas para cada experimento. Las semillas se germinaron en bolsas, se regaron cada tercer día durante seis meses y se cosecharon las plántulas. Se midieron las variables: días de germinación, sobrevivencia, expansión de cotiledones y hojas, altura total, peso tallo, peso raíz, peso hojas, peso total y área foliar; y se utilizaron los parámetros de crecimiento: NAR, LWR, SLA, LAR, RGR, SWR y R/S para evaluar el establecimiento temprano. La probabilidad de germinación y de sobrevivencia fue mayor en semillas de árboles de sitios fragmentados y en el experimento en campo. La expansión de cotiledones y hojas fue mayor en plántulas de sitios continuos y en el experimento de campo, además se presentó el efecto materno. La altura de las plántulas fue mayor en las de sitios fragmentados y en el experimento de campo. Hubo diferencias en la NAR y en SLA, entre los experimentos. Las plántulas de sitios fragmentados y las del experimento de campo, presentaron mayores niveles en LWR y en LAR. RGR, SWR y R/S fueron mayores en plántulas de sitios fragmentados y en el experimento de invernadero.

La fragmentación del bosque no afecta de manera negativa el vigor de progenie y el establecimiento temprano de las plántulas de *Tabebuia rosea*.

**Palabras clave:** Germinación, Semilla, Plántulas, Crecimiento, Supervivencia

**ABSTRACT**

The tropical dry forest is widely distributed in the world. However, because of the fragmentation, this ecosystem has been severely affected. Therefore, the purpose of this work was to evaluate the effect of the fragmentation of the habitat in the progeny vigor and the early establishment of seedlings of *Tabebuia rosea*, in greenhouse conditions and field. The study site is located in the Chamela - Cuixmala Biosphere Reserve. They were selected 20 trees in sites of continuous forest and fragmented sites. There were collected 5 fruits of each individual and 24 random seeds for each experiment. The seeds were germinated in bags, watered every third day for six months and subsequently were harvested the seedlings. The variables were measured: days of germination, survival, cotyledon and leaf expansion, total height, stem's weight, root's weight, leaves' weight, total weight and leaf area; and they were used the growth parameters: NAR, LWR, SLA, LAR, RGR, SWR y R/S were used to evaluate the early establishment. The probability of germination and survival was higher in seeds of fragmented sites as well as in the field experiment. The expansion of cotyledons and leaves was greater in seedlings of continuous sites and field experiment. Also it was presented the maternal effect in the first stages of growth. As for the height, the ones for fragmented sites reached greater heights than the continuous forests and also in the field experiment. There were differences between experiments in NAR and SLA. The seedlings of fragmented sites and also the field experiments presented greater levels in LWR and LAR. RGR was greater in seedlings of fragmented sites and in the greenhouse experiment and the same thing happens for the SWR and R/S.

The fragmentation of the forest does not affect negatively the vigor of the progeny and the early establishment of the seedlings of *Tabebuia rosea*,

**Key words:** Germination, Seed, Seedlings, Growth, Survival

## 1. INTRODUCCIÓN

El bosque tropical seco (BTS) presenta una amplia distribución a nivel mundial, ya que ocupa cerca del 42% de la superficie tropical y cubre aproximadamente el 31% de los bosques en México, distribuyéndose principalmente por la costa del pacífico y la península de Yucatán (Rzedowski, 1978; Murphy & Lugo, 1986; Masera *et al.*, 1997; Trejo y Dirzo, 2000). Este tipo de ecosistema se caracteriza por presentar una marcada estacionalidad, presentando una temporada de lluvias donde las plantas mantienen sus hojas y una temporada de secas donde la mayoría de las plantas pierden sus hojas y muchas de ellas dispersan sus semillas, siendo esta la principal característica que influye en la estructura y función de este tipo de ecosistema (Murphy & Lugo, 1986; Bullock y Solis, 1990).

El BTS es uno de los ecosistemas de mayor importancia, ya que por sus características físicas y ambientales presenta una alta biodiversidad (Ceballos & García, 1995; Noguera *et al.*, 2002), albergando a un gran número de especies endémicas. Sin embargo, actualmente este ecosistema es uno de los más amenazados a causa de la deforestación y cambio de uso de suelo (Ceballos y García, 1995; Quesada y Stoner, 2004), repercutiendo en la destrucción del bosque y provocando la fragmentación del hábitat (Fahrig, 2003; Miles *et al.*, 2006).

La fragmentación es una de las formas más comunes de degradación de un hábitat, esta se presenta cuando un área extensa de un hábitat en particular es

reducida y dividida en fragmentos, quedando manchones de hábitat aislados entre sí dentro de una matriz de otros tipos de ambientes (Primack *et al.* 2001; Herrerías-Diego *et al.* 2006; Fahrig 2003), y provocando cambios importantes en la estructura de las poblaciones y comunidades de plantas, así como en el ambiente físico (Saunders *et al.* 1991; Bustamante y Grez 1995).

Las especies de plantas de los bosques tropicales presentan características que las hacen susceptibles a la fragmentación del hábitat (Bawa, 1974; Murphy y Lugo 1986; Quesada *et al.*, 2001; Cascante *et al.* 2002), ya que a causa del aislamiento de los fragmentos, el éxito reproductivo, el vigor de la progenie, los procesos de germinación, el establecimiento de plántulas, y la regeneración de las especies, pueden verse fuertemente afectados (Benitez-Malvido 1998; Restrepo y Vargas 1999; Cascante *et al.* 2002; Colling *et al.* 2004 ).

El éxito reproductivo está determinado por procesos como producción de flores, frutos y semillas; puesto que la reducción en el número de individuos que componen la población se encuentra relacionada con la disminución del número de individuos reproductivos por unidad de área, al incrementar la distancia entre árboles reproductivos se disminuye la disponibilidad de polen y el número de visitas de los polinizadores, y por ende la producción de frutos y semillas de las especies (Fuchs *et al.* 2003; Quesada *et al.* 2004; Ramírez 2012).

El vigor de la semilla es la suma de propiedades bajo un amplio rango de condiciones ambientales que determina el potencial necesario de actividad y capacidad de la semilla durante la germinación y emergencia de la plántula

(Abascal 1984). Las semillas presentan características fisiológicas y estructurales de acuerdo al medio en que estas se encuentran, las cuales hacen que las semillas dispersadas presenten diferencias en la capacidad de germinación y emergencia de las plántulas (López 2005; Rivera 2011).

Algunas reacciones bioquímicas como la actividad respiratoria, y enzimáticas como la velocidad y uniformidad de emergencia de la plántula y crecimiento, son variaciones que se encuentran asociadas al vigor de las semillas, las cuales condicionarán la capacidad de emergencia de las plántulas de acuerdo a las condiciones del hábitat donde estas hayan sido dispersadas (Basáñez y Farrás 1997; Aristizábal *et al.* 2006; Ramírez 2012).

De acuerdo con Trujillo (1990), la germinación es una secuencia de eventos influenciada directamente por factores internos y externos que interactúan permanentemente; entre los factores externos se encuentran principalmente la humedad, temperatura, luz, oxígeno, CO<sub>2</sub> y el sustrato. Y en los factores internos se encuentran principalmente la activación metabólica y la regulación genética particular.

El proceso de germinación según Bertsch (1985), se inicia cuando la semilla se hidrata, en ese momento la radícula empieza a crecer y termina cuando la radícula atraviesa la cubierta seminal. Este proceso comprende tres fases: la imbibición (aumento en la actividad respiratoria), la germinación y el crecimiento (en el cual el proceso se vuelve irreversible).

Actualmente existe poca información sobre el efecto de la fragmentación en el vigor de la progenie y establecimiento de plántulas en bosques secos, ya que la mayoría de estudios se han realizado en bosques húmedos (Aguilar-Aguilar, 2011).

Cascante y colaboradores (2002), fueron los primeros en evaluar el efecto de la fragmentación sobre el vigor de progenie en Costa Rica con la especie arbórea *Samanea saman* (Fabaceae) del BTS donde comparan el vigor en semillas provenientes de árboles de sitios continuos y fragmentados. De acuerdo a sus resultados, mencionan que las plántulas de las semillas de los árboles de sitios continuos presentaron mayor probabilidad de germinación, mayor área foliar y biomasa, a comparación de las plántulas pertenecientes a las semillas de los sitios fragmentados, por lo que concluye que la fragmentación tiene un efecto negativo en el vigor de la progenie. Sin embargo, menciona que los árboles de los sitios fragmentados presentaron alta capacidad reproductiva a pesar de la condición de su hábitat.

Palacios en el 2005 realizó un estudio sobre el efecto del aislamiento espacial y fenológico en la biología reproductiva de *Ceiba grandiflora*, donde uno de los parámetros evaluados fue el vigor de la progenie de la especie, por lo que para esto concluye que las semillas provenientes de árboles de bosque continuo expresaron mayor vigor que las provenientes de sitios perturbados.

En el estudio realizado por Aguilar-Anguiano (2008), sobre *Ceiba aesculifolia*, concluye que la fragmentación del bosque sí se ve afectado el vigor

de la progenie en semillas provenientes de sitios fragmentados. Sin embargo, menciona que las semillas obtenidas de *Ceiba aesculifolia* dentro de sitios fragmentados germinan en menos tiempo en comparación con las de bosque continuo, y de igual manera, la tasa relativa de crecimiento y área foliar fue mayor en las plántulas de los sitios fragmentados.

Otro de los estudios donde han evaluado el efecto de la fragmentación sobre el vigor de la progenie es el de Rivera (2011). El experimento se realizó en condiciones de invernadero donde comparó semillas de *Astronium graveolens* provenientes de bosques continuos y fragmentados. Rivera concluye que la fragmentación no afecta la velocidad y capacidad con la que se lleva a cabo la germinación de las semillas de *Astronium graveolens*, sin embargo menciona que la probabilidad de germinación de los individuos de bosque continuo fue mayor que en los de sitios fragmentados.

Aguilar-Aguilar (2011), evaluó el efecto de la fragmentación sobre el establecimiento temprano de *Astronium graveolens* y *Brosimum alicastrum*, donde compararon plántulas de bosques continuos y fragmentados, estableciendo parcelas permanentes en ambos sitios y de ambas especies para determinar su abundancia y monitorear su sobrevivencia, y sólo para el caso de *Astronium graveolens* se evaluó la germinación de semillas en ambos sitios. Aguilar-Aguilar concluye que la fragmentación del hábitat tiene efectos negativos sobre la probabilidad de germinación en *Astronium graveolens*, y de igual manera, menciona que el crecimiento de las plántulas, la sobrevivencia y la abundancia de ambas especies es menor en los fragmentos de bosque.

Por último, Ramírez en el 2012, pero con *Ceiba pentandra* evaluó de igual manera el efecto de la fragmentación sobre el vigor de la progenie de en condiciones de invernadero, donde concluye que no hay un efecto de la fragmentación en la germinación y sobrevivencia de plántulas, sin embargo, menciona que a partir de la expansión de la cuarta hoja se observa una tendencia a que las plantas de bosque continuo crezcan más rápido. También concluye que las plántulas de los sitios continuos presentaron raíces con mayor biomasa y mayor área foliar específica.

Por lo tanto, debido a la poca información que se tiene sobre el efecto de la fragmentación del hábitat en especies arbóreas del BTS, resulta de gran interés la realización de estudios que proporcionen información sobre los efectos que causa la fragmentación en algunos procesos de reproducción en árboles del BTS, por lo tanto nuestro objetivo fue evaluar el efecto que tiene la fragmentación en el vigor de progenie y en el establecimiento temprano de plántulas de *Tabebuia rosea* en condiciones de invernadero y campo.

## 2. METODOLOGÍA

### Área de estudio

La Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala (RBCC) se encuentra ubicada en la costa del Pacífico Mexicano en el municipio de La Huerta, Jalisco; entre los 19°29' y 19°34' de latitud Norte y 104°58' y 105°04' de longitud Oeste con una superficie total de 16 000 ha. Limita al norte con el Río Chamela y al sur con el Río Cuixmala, al oeste con la carretera federal 200 y al este con el Arroyo Caimán. La Reserva se encuentra en la Región Neotropical, al noroeste de la provincia fisiográfica denominada Planicie Costera Suroccidental y en la subprovincia Sierras de la Costa de Jalisco y Colima (Noguera *et al.* 2002) (Figura 1).



**Figura 1.** Ubicación de la Reserva de la Biósfera Chamela-Cuixmala, Jalisco, México (Tomada de <http://www.ibiologia.unam.mx/ebchamela/www/reserva.html>).

La precipitación anual promedio es de 748 mm; esta zona recibe una influencia importante de los ciclones tropicales, los cuales provocan un patrón de precipitación marcadamente estacional; las lluvias se presentan en periodos cortos (julio a octubre), mientras que los periodos de seca son más largos (de Noviembre a Mayo), con una precipitación anual de 748mm de la cual, el 80% se concentra durante el verano y otoño (Bullok 1986; García-Oliva *et al.* 1991; Noguera *et al.* 2002; Ceballos *et al.* 2010).

En la RBCC se distinguen siete tipos de vegetación de los cuales, el Bosque tropical seco y el bosque tropical sub-caducifolio son los que se encuentran mejor representados; el BTC posee la mayor extensión, presenta una estructura densa de árboles de 15 m en promedio, caracterizado por la pérdida de las hojas durante un periodo de 6 a 8 meses (Noguera *et al.*, 2002; Quesada *et al.* 2002).

### **Especie de estudio**

Nombres comunes: Palo de rosa, Rosa morada, Cinco hojas.

Árbol de 15 a 30 m de altura, con un DAP de hasta 1 m. Las hojas son compuestas, de 10 a 35 cm de largo, incluyendo el pecíolo; con 5 folíolos, los dos inferiores más pequeños, el terminal más grande, lanceolados o elípticos, con el margen entero. La ramificación en su fase inicial de crecimiento su ramificación es dicotómica y eventualmente el árbol llega a formar un excelente fuste. El tronco es derecho, y a veces ligeramente acanalado. Las flores son panículas cortas con las ramas cimosas, axilares, de hasta 15 cm de largo, escamosas; cáliz blanco verdoso, tubular, de 2 a 2.5 cm de largo; corola de 7 a 10 cm de largo, tubular en

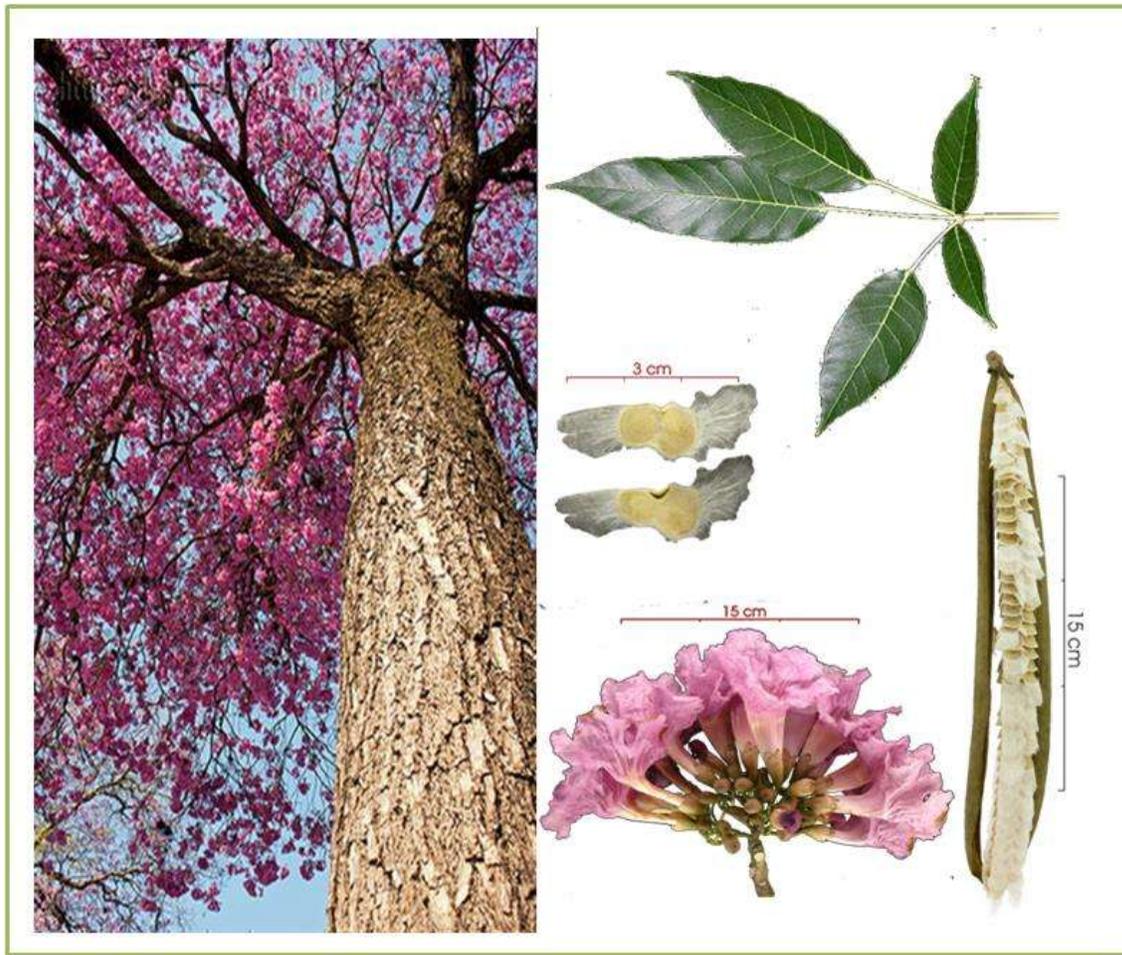
---

la base y expandida en la parte superior en un limbo bilabiado; tubo de la corola de color blanco; lóbulos color lila a rosado pálido o púrpura rojizo. Los frutos son cápsulas estrechas de 22 a 38 cm de largo por 0.9 a 1.5 cm de ancho, lisas, con 2 suturas laterales, de color pardo oscuro, cubiertas por numerosas escamas, con el cáliz persistente conteniendo numerosas semillas. Las semillas son aladas y delgadas, blanquecinas, de 2 a 3 cm de largo, las alas hialino-membranáceas, conspicuamente demarcadas del cuerpo de la semilla (Figura 2). Esta especie en México se encuentra distribuida principalmente en la vertiente del Golfo desde el sur de Tamaulipas y el norte de Puebla y Veracruz hasta el norte de Chiapas y sur de Campeche; en la vertiente del Pacífico desde Nayarit hasta Chiapas. Altitud: 0 a 850 (1,450) m. En el continente se distribuye desde el sur de México al norte de Venezuela y el oeste de los Andes hasta las costas de Ecuador.

### **Selección de individuos y recolecta de semillas**

Para determinar el efecto de la fragmentación del hábitat sobre el vigor de la progenie y el establecimiento temprano de *Tabebuia rosea*, se marcaron 20 árboles de ambas condiciones; los árboles de bosque continuo se ubicaron dentro de la RBCC, y los de bosque fragmentado a los alrededores de la reserva. Ambas condiciones pertenecen al municipio de la Huerta, Jalisco, México. Cada individuo fue seleccionado según el orden de aparición, tomando en cuenta que este presentara flores y/o frutos para la recolecta de semillas, y se les tomaron datos de altura y DAP. Un árbol se consideró de bosque continuo cuando se encontraba en una matriz de bosque maduro y sin intervención humana

aparente; un árbol se consideró de sitio fragmentado cuando se encontró rodeado por una matriz de campos agrícolas, centros urbanos y/o pastizales.



**Figura 2.** Características morfológicas de *Tabebuia rosea*.

En cuanto a la recolecta de semillas de *Tabebuia rosea*, se recolectaron 5 frutos de cada individuo, de los cuales se seleccionaron 24 semillas al azar para cada experimento. Las semillas fueron pesadas y etiquetadas individualmente para no perder la identidad de estas.

**Germinación de semillas****-Condiciones controladas en invernadero**

El invernadero donde se llevó a cabo el experimento se encuentra ubicado en las instalaciones del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (iies), en la ciudad de Morelia, Michoacán, México. La temperatura que se mantuvo durante el experimento dentro del invernadero fue de 28°C, y la humedad al 60%. Las semillas se pusieron a germinar en bolsas de 18x26 cm con un sustrato de arena y tierra orgánica en proporción 3:1. El acomodo de las semillas se hizo en 4 bloques completamente al azar, y en cada uno de los bloques estuvieron representadas todas las madres y las dos condiciones (bosque continuo y fragmentado). Se regaron cada tercer día y se revisaron diariamente para tomar los siguientes registros: día de germinación, expansión de cotiledones, expansión de las hojas y sobrevivencia.

El día de germinación se consideró cuando la radícula emergió del suelo, y el día de la siembra se consideró como el día cero del experimento. Las plántulas se mantuvieron en el invernadero durante seis meses, y al final se realizó una cosecha destructiva para determinar los parámetros necesarios para los análisis de vigor y establecimiento (altura total, área foliar, materia seca acumulada de raíz, tallo y hojas).

**-Condiciones semicontroladas en campo**

Las semillas se pusieron a germinar en cuatro bloques de 18 m<sup>2</sup>, en un predio privado en el municipio de Tepalcatepec, Michoacán, México, durante la

temporada de lluvia. La temperatura promedio que se presentó durante los seis meses del experimento fue de 29.8°C y la humedad promedio de 48%. En cada uno estuvieron representadas las dos condiciones y todas las madres, la posición que ocuparon en el bloque fue seleccionado completamente al azar. Las semillas fueron sembradas en vasos, se mantuvieron así durante 20 días y se trasplantaron en bolsas de 18x26 cm. Al igual que en las condiciones controladas, el sustrato que se utilizó fue arena y tierra orgánica en proporción 3:1. Se regaron cada tercer día sólo si no se presentaban lluvias, y únicamente se utilizó malla sombra para evitar la desecación de las plántulas. Se revisaron diariamente para tomar los siguientes registros: día de germinación, expansión de cotiledones, expansión de las hojas y sobrevivencia. Las plántulas se mantuvieron en observación durante seis meses, posteriormente al igual que en condiciones controladas, se realizó la cosecha destructiva para determinar los parámetros mencionados en las condiciones controladas.

### **Análisis de datos**

#### **-Análisis de vigor de las semillas**

Para el análisis de crecimiento de las plántulas se realizó un procedimiento GENMOD (SAS, 2000), en el cual se utilizaron como variables dependientes número de días de germinación, días de expansión de cotiledones, días de expansión de hojas, altura total, peso del tallo, peso raíz, peso hojas, peso total y área foliar; como efectos de variación se utilizaron las madres anidadas en condición, la condición y el experimento (invernadero y campo); y como

covariables se utilizaron el peso de la semilla y el diámetro a la altura de la base (DAB) de las plántulas. Al igual, se empleó el procedimiento GENMOD (SAS, 2000), con distribución binomial y una función asociada logit para evaluar la probabilidad de germinación y probabilidad de sobrevivencia; de la misma manera al modelo anterior, se utilizaron como efectos de variación las madres anidadas en condición, la condición y el experimento (invernadero y campo); y como covariables el peso de la semilla y el diámetro a la altura de la base (DAB) de las plántula.

#### -Análisis de los parámetros de crecimiento

El análisis de los parámetros de crecimiento nos permitió analizar el crecimiento de las plantas a través del incremento de biomasa, área foliar, raíz, tallo y la relación entre estos en el tiempo. Estos se dividen en dos tipos:

##### 1) Fisiológicos:

Dentro de los parámetros fisiológicos de crecimiento se encuentra la tasa de asimilación neta (NAR), la cual corresponde a la ganancia neta en el peso por unidad de área foliar (Hunt 1982), lo cual específicamente se refiere a la tasa de reproducción de materia seca por unidad de área foliar por unidad de tiempo, y se mide en  $\text{g cm}^2 \text{ día}$  (Evans y Clifford 1972; Hunt 1982)

##### 2) Morfológicos:

Dentro de los parámetros morfológicos de crecimiento se encuentra la proporción de área foliar (LAR), el índice de peso foliar (LWR), el área foliar

específica (SLA), la tasa relativa de crecimiento (RGR), el índice de peso del tallo (SWR) y la proporción de raíz/tallo (R/S).

LAR: Es la relación entre el área foliar total y la biomasa seca total de la planta, y se mide en  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$  (Evans y Clifford 1972; Hunt 1982).

LWR: Es la proporción del follaje en relación al peso seco total de la planta y se mide en  $\text{g g}^{-1}$  (Evans y Clifford 1972; Hunt 1982). Este parámetro indica la fracción de biomasa total de la planta que se le asigna a las hojas (Lambers y Poorter 1992).

SLA: Expresa la relación área/peso del follaje, es decir, el área foliar total entre el peso seco total del follaje, con lo cual se hace una estimación de densidad o de grosor de las hojas, y se mide en  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$  (Hunt 1990).

RGR: Es la tasa de crecimiento relativo en el peso seco de toda la planta. Es decir, es la velocidad de cambio en biomasa por unidad de tiempo, y está determinada por dos parámetros esenciales,  $\text{RGR} = \text{NAR} * \text{LAR}$ , la cual se mide en  $\text{g g}^{-1} \text{día}^{-1}$  (Poorter 1989; Evans y Clifford 1972; Hunt 1982). Este parámetro indica la capacidad potencial de las plantas para aprovechar las oportunidades de crecimiento favorables (Wright y Westoby 2000)

SWR: Es la proporción del peso del tallo con respecto al peso seco total de la planta (Huante *et al.* 1995).

R/S: Es la relación de la biomasa de la raíz por unidad de biomasa total de la planta, y se mide en  $\text{g g}^{-1}$  (Villar *et al.* 2008).

Para el análisis de los parámetros de crecimiento de las plántulas se realizó un procedimiento GENMOD (SAS, 2000), en el cual se utilizaron como variables dependientes NAR, LAR, LWR, SLA, RGR, SWR y R/S; como efectos de variación se utilizaron las madres anidadas en condición, la condición y el experimento (invernadero y campo); y como covariables se utilizaron el peso de la semilla y el diámetro a la altura de la base (DAB) de las plántulas.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **Análisis de vigor (características ecológicas)**

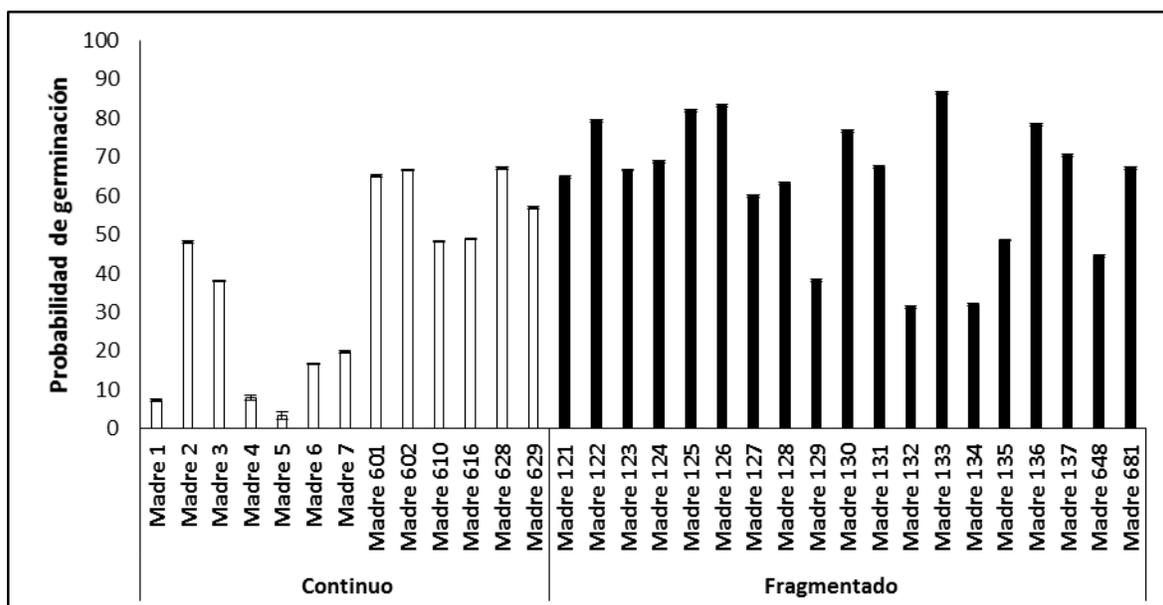
Se sembraron un total de 2172 semillas, de las cuales 1173 fueron sembradas en invernadero y 999 en campo. En invernadero germinó un total de 521 semillas que representa el 44% de total; en campo 620 semillas, representando un 62% del total.

En cuanto a la probabilidad de germinación (PG) para las semillas de *Tabebuia rosea*, se presentan diferencias estadísticamente significativas, teniendo variación en la PG entre las madres de cada condición ( $\chi^2=109.50$ ,  $gl=32$ ,  $P<0.0001$ ), la condición sin tomar en cuenta a las madres ( $\chi^2=14.15$ ,  $gl=1$ ,  $P=0.0002$ ) y entre experimentos ( $\chi^2=8.51$ ,  $gl=1$ ,  $P=0.0032$ ). Para el caso de las madres, las pertenecientes a sitios fragmentados fueron las que produjeron progenies que presentaron mayor PG (Figura 3), sin embargo, aunque no todas las madres de los sitios fragmentados tuvieron progenies con altas probabilidades de germinación (cuatro madres), para el caso de las madres de sitios conservados, más del 70% de las madres produjeron semillas con probabilidades de germinación menor al 50%.

En cuanto a la PG entre condiciones, sin tomar en cuenta a las madres, esta fue mayor en las semillas de sitios fragmentados, teniendo más del 60% de probabilidad de que las semillas germinen, a comparación de las del sitio continuo, donde la probabilidad de germinación de estas es menor al 50% (Figura 4). Esto se contrapone con los resultados obtenidos por Cascante (2002). Aguilar-

Anguiano (2008), Aguilar-Aguilar (2011) y Ramírez-Rincón (2012), donde obtienen que la probabilidad de germinación de sus respectivas especies de estudio fue mayor en las semillas provenientes de bosques continuos.

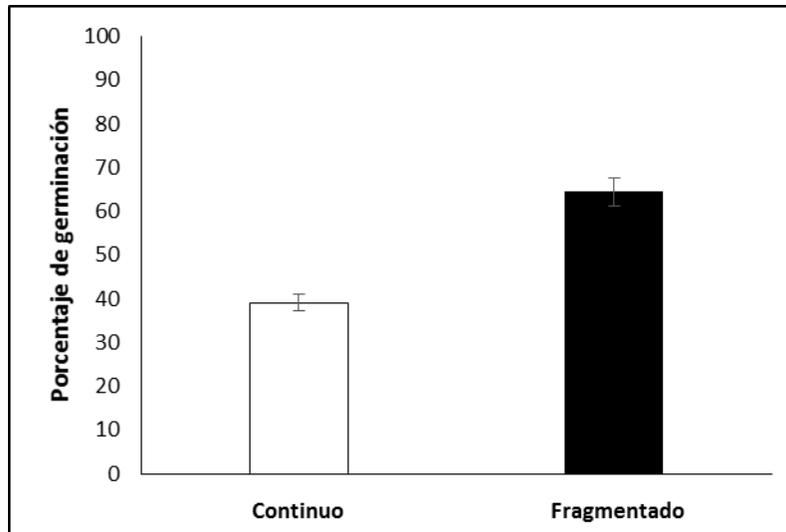
Una de las razones por lo que la probabilidad de germinación sea mayor en semillas de sitios fragmentados puede estar relacionado principalmente con el tamaño y peso de las semillas, ya que el peso promedio de las semillas provenientes de sitios fragmentados era significativamente mayor que las del sitio continuo. Además, se sabe que el peso de las semillas juega un papel importante en cuanto a la probabilidad de germinación, ya que según Aguilar (2005), menciona que el tamaño y peso de las semillas se encuentran estrechamente relacionados con la calidad fisiológica de estas, por lo cual, las semillas con mayor peso presentarán mayor PG.



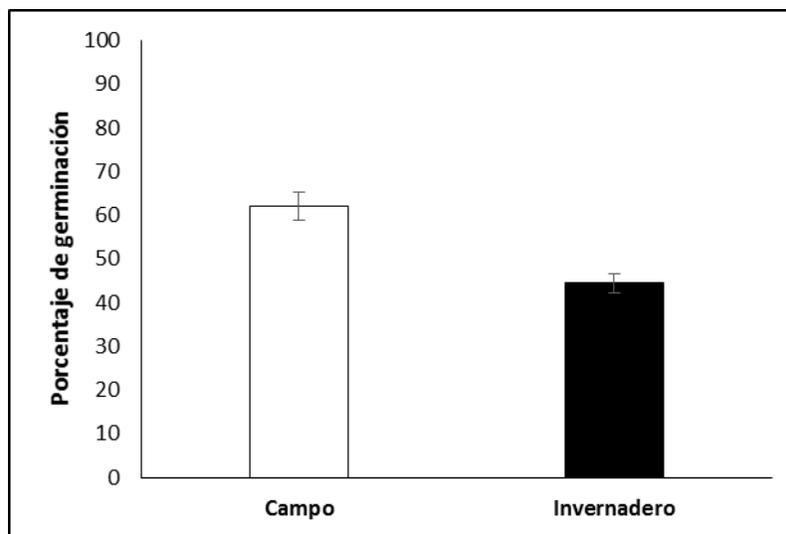
**Figura 3.** Probabilidad de germinación correspondiente a la progenie de cada madre de *Tabebuia rosea* del sitio continuo y fragmentado ( $\chi^2=109.50$ ,  $gl=32$ ,  $P<0.0001$ ). Las barras representan el Error Estándar.

La PG para el caso de los experimentos, las semillas germinadas en campo fueron las que presentaron mayor probabilidad de germinación (Figura 5). Esto coincide con lo reportado por Vovides (1990) con la especie *Dioon edule*, la cual, menciona que el éxito de germinación fue mayor del 98% en condiciones naturales. Lo mismo pasa con los resultados de Lázaro-Zermeño *et al.* (2011), donde menciona que la tasa de germinación de *Dioon merolae* en condiciones naturales fue del 96%. La temperatura y el fotoperiodo también son factores muy importantes en cuanto a la germinación de las semillas, por lo cual se pensaría que por las condiciones de luz y temperatura donde se llevó a cabo cada uno de los experimento (invernadero y campo), estaría influyendo en la germinación, y aunque no se descarta totalmente, Socolowski y Takaki (2007), mencionan que las semillas de *T. rosea* tienen la capacidad de germinar en rangos de temperatura muy amplios y en presencia o ausencia de luz, por lo cual podría haber una tasa de germinación alta tanto en lugares sombríos como en pleno sol.

Se analizó la velocidad de germinación para ambas condiciones y experimentos, teniendo diferencias estadísticamente significativas entre las madres ( $\chi^2=56.46$ ,  $gl=32$ ,  $P=0.0048$ ) y experimentos ( $\chi^2=1622.95$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ). Las semillas de las madres de sitios continuos presentaron una velocidad de germinación mayor (12 días en promedio), mientras que las progenies provenientes de las madres de los sitios fragmentados tardaron 15 días promedio en germinar (Figura 6).



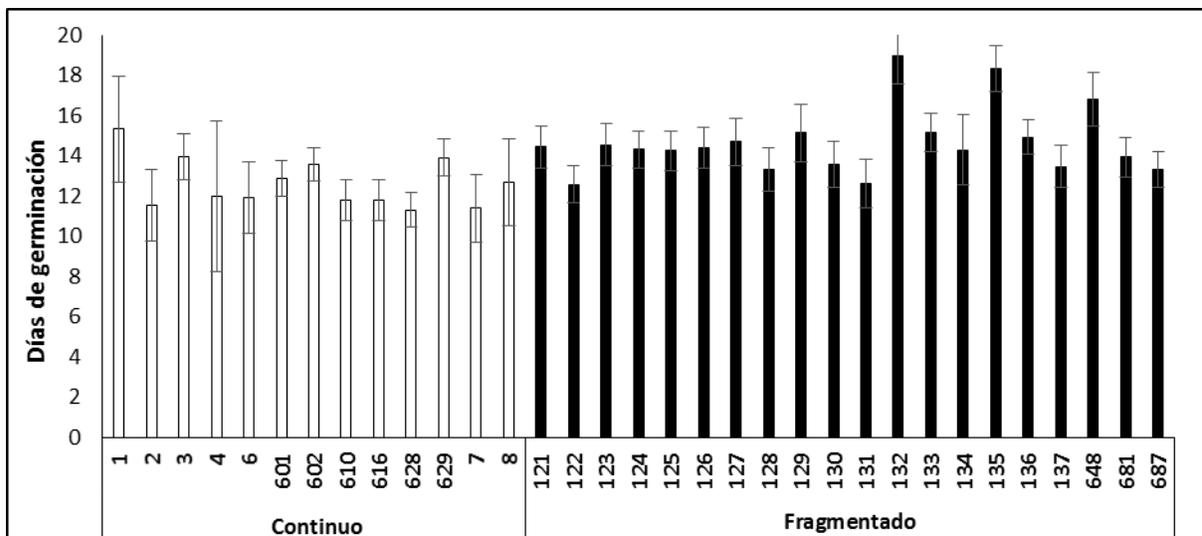
**Figura 4.** Probabilidad de germinación correspondiente a la condición de la progenie de *Tabebuia rosea* del sitio continuo y fragmentado ( $\chi^2=14.15$ ,  $gl=1$ ,  $P=0.0002$ ). Las barras representan el Error Estándar.



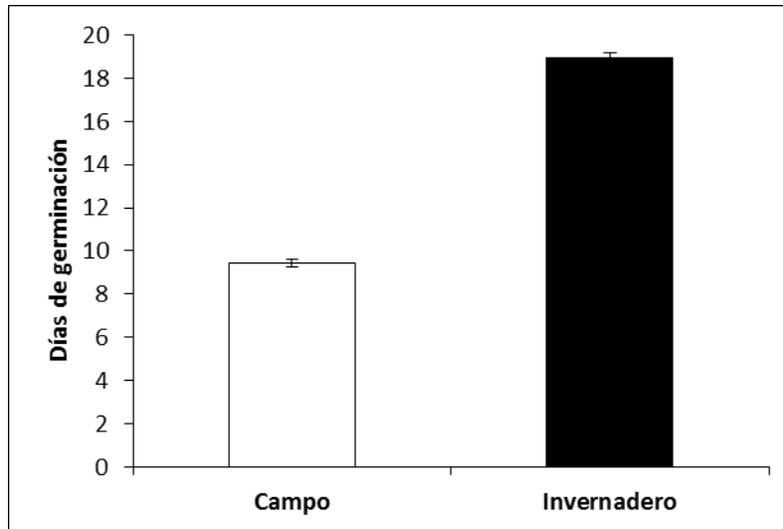
**Figura 5.** Probabilidad de germinación correspondiente al experimento (campo e invernadero) de germinación de la progenie de *Tabebuia rosea* ( $\chi^2=8.51$ ,  $gl=1$ ,  $P=0.0032$ ). Las barras representan el Error Estándar

En cuanto al experimento, las semillas puestas a germinar en invernadero la velocidad de germinación fue menor (18 días en promedio) a diferencia de las semillas germinadas en campo (9 días en promedio) (Figura 7). Aunque la velocidad de germinación que se observa para esta especie no es tan rápida

comparándolas con algunas otras del bosque seco (i.e. *Samanea sama* y *Pithecellobium dulce*; Vargas *et al.* (2015)). Además se sabe que las especies de plantas que producen semillas aladas tienen ventaja en cuanto a la rápida colonización de los sitios fragmentados, en comparación con las semillas que son dispersadas por animales (Vieira y Scariot, 2006). Sin embargo, en otro estudio realizado por Vieira *et al.* (2008), menciona que una de las desventajas que presentan las semillas con altas velocidades de germinación, principalmente en los bosques tropicales secos, es la disminución en la probabilidad de sobrevivencia, a diferencia de las semillas que presentan una germinación más lenta, en las cuales la probabilidad de sobrevivencia aumenta (Vieira *et al.* 2008), y otra de las ventajas que se tienen en la velocidad de germinación lenta, es que si se presenta un periodo de sequía durante el inicio de la temporada de lluvia, las semillas tendrían la oportunidad de retrasar el proceso de germinación y así asegurar el establecimiento y desarrollo de las plántulas (Martins *et al.* 2015).



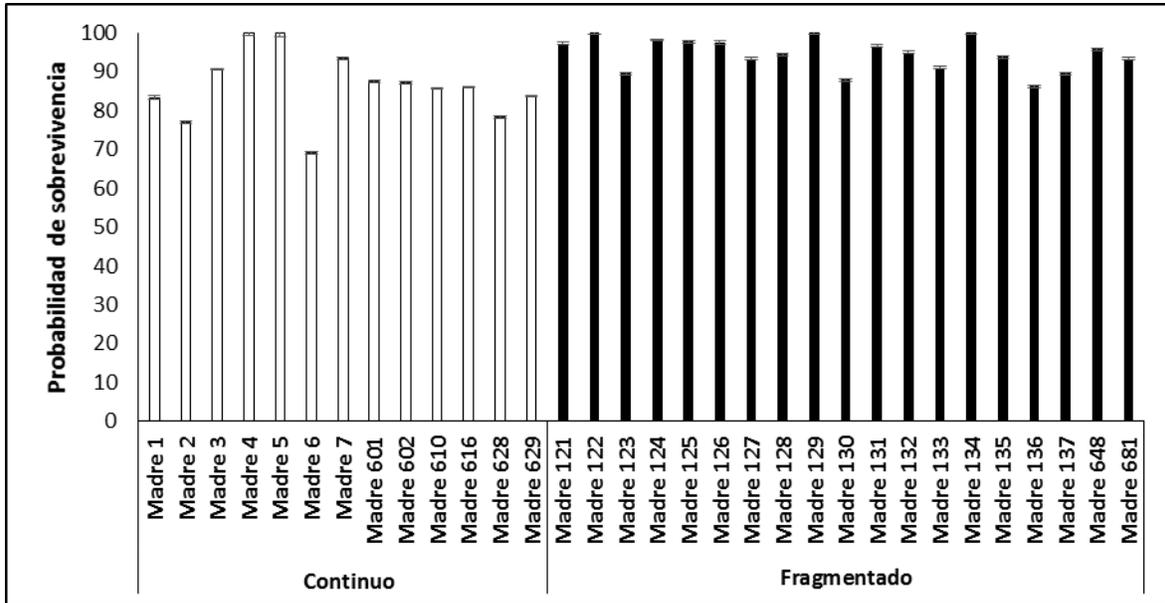
**Figura 6.** Días de germinación correspondiente a la progenie de cada madre de *Tabebuia rosea* del sitio continuo y fragmentado ( $\chi^2=56.46$ ,  $gl=32$ ,  $P=0.0048$ ). Las barras representan el Error Estándar.



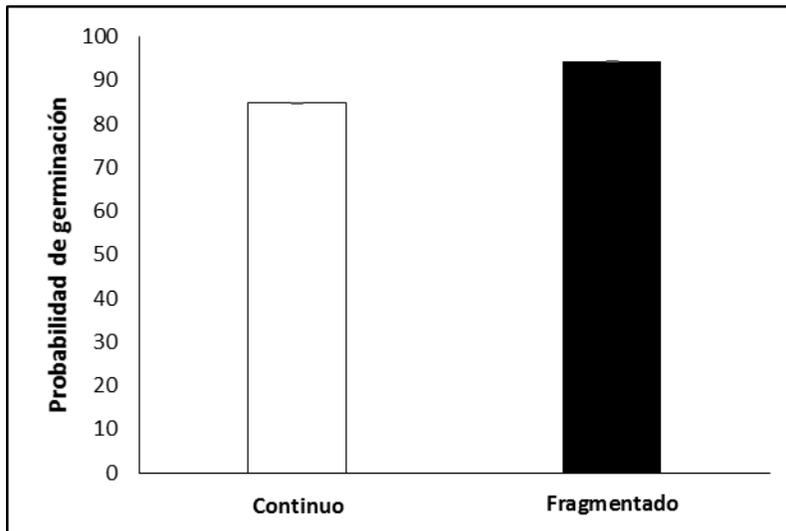
**Figura 7.** Días de germinación correspondiente al experimento (campo e invernadero) de germinación de la progenie de *Tabebuia rosea* ( $\chi^2=1622.95$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ). Las barras representan el Error Estándar.

En cuanto a la probabilidad de sobrevivencia, al igual que la de germinación, se presentaron diferencias estadísticamente significativas en las madres ( $\chi^2=96.12$ ,  $gl=32$ ,  $P<.0001$ ), la condición ( $\chi^2=8.39$ ,  $gl=1$ ,  $P=0.0038$ ) y el experimento ( $\chi^2=72.59$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ). Teniendo para el caso de las madres, mayor probabilidad de sobrevivencia de progenies de sitios fragmentados (Figura 8). Para la condición, la mayor probabilidad de sobrevivencia se dio en semillas de sitios fragmentados, con un 94% de sobrevivencia, mientras que para el sitio de bosque continuo el porcentaje de sobrevivencia fue de 84% (Figura 9). Lo cual se contrapone con los resultados obtenidos por Ramírez-Rincón (2012) y Aguilar-Aguilar (2011), donde concluye que la probabilidad de sobrevivencia de plántulas de *Ceiba pentandra* fue mayor en las semillas provenientes del sitio de bosque continuo.

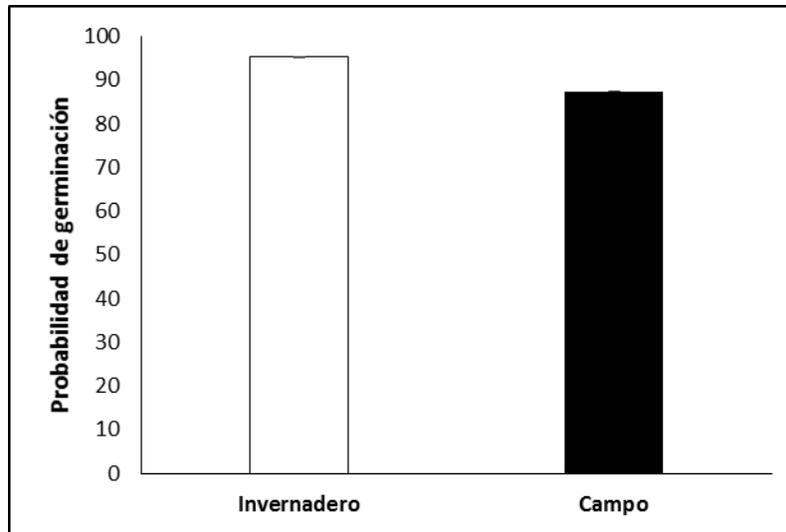
En cuanto al experimento, la mayor probabilidad de sobrevivencia estuvo dada en el invernadero con un 95%, mientras que en la germinación en campo, la sobrevivencia fue de un 87% (Figura 10). Esto puede estar estrechamente relacionado a dos factores; 1) No hubo control sobre la presencia de herbívoros en el experimento de campo y se pudo observar que la mortalidad de las plántulas fue ocasionada principalmente por la presencia de estos; 2) Puesto que las plántulas contaban únicamente con maya sombra para protegerlas un poco de la desecación, la incidencia de luz que entraba por los laterales del cuadrante ocasionó la rápida deshidratación de algunas plántulas. Sin embargo, para este caso y de manera diferencial en las semillas, la velocidad de germinación también podría estar jugando un papel muy importante en cuanto a la supervivencia de las plántulas, puesto que Martins *et al.* (2015), menciona que una germinación más lenta de semillas donde la disponibilidad de agua es limitada, aumenta la probabilidad de supervivencia de las plántulas en ambientes donde se presentan periodos de sequía largos y la precipitación tiende a ser impredecible. Y aunado a esto, Daws *et al.* (2007), menciona que existe una asociación entre la lenta germinación de las semillas, principalmente de especies pioneras del neotrópico, con las lluvias impredecibles, esto para disminuir la mortalidad de las plántulas.



**Figura 8.** Probabilidad de sobrevivencia correspondiente a la progenie de cada madre de *Tabebuia rosea* del sitio continuo y fragmentado ( $\chi^2=96.12$ ,  $gl=32$ ,  $P<.0001$ ). Las barras representan el Error Estándar



**Figura 9.** Probabilidad de sobrevivencia correspondiente a la condición de la progenie de *Tabebuia rosea* del sitio continuo y fragmentado ( $\chi^2=8.39$ ,  $gl=1$ ,  $P=0.0038$ ). Las barras representan el Error Estándar.



**Figura 10.** Probabilidad de germinación correspondiente al experimento (campo e invernadero) de germinación de la progenie de *Tabebuia rosea* ( $\chi^2=72.59$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ). Las barras representan el Error Estándar.

En la expansión de cotiledones y hojas hubo diferencias estadísticamente significativas entre madres, experimento y condición de manera diferencial en la expansión de cada hoja (Tabla 1). Se observa que existe un efecto materno y de experimento desde la expansión de cotiledones hasta la tercera hoja, y a partir de la cuarta hoja se representa el momento en que la plántula ya no depende del aporte dado por la madre, y es entonces cuando se observa un efecto de la condición de la que provienen las progenies, donde tenemos que las plántulas pertenecientes al bosque continuo son las primeras en llegar a la expansión de la cuarta hoja (68 días en promedio) a diferencia de las de sitios fragmentados (74 días en promedio) ( $\chi^2=22.76$ ,  $gl=1$ ,  $P<0.0001$ ), sin embargo también se observa que el efecto de la semilla sigue ejerciendo presión sobre la condición del bosque hasta la cuarta hoja. De acuerdo a Roach y Wulff (1986), se sabe que el efecto materno puede estar determinando la variación fenotípica de un individuo tomando

en cuenta el genotipo más el ambiente (la contribución de la madre hacia la progenie), sin embargo, menciona que aunque esté presente el componente genético, el efecto materno es una fuente ambiental de variación viéndolo del lado de la progenie.

En las figuras 11a y 11b están representados los días promedios de expansión de las hojas de los dos experimentos (invernadero y campo) y la condición a la que pertenecen las madres de las progenies, donde se observa que durante el transcurso del desarrollo de las plántulas, el efecto de la madre está presente hasta la segunda hoja para el caso de germinación en invernadero y hasta la tercera hoja en el caso de germinación en campo.

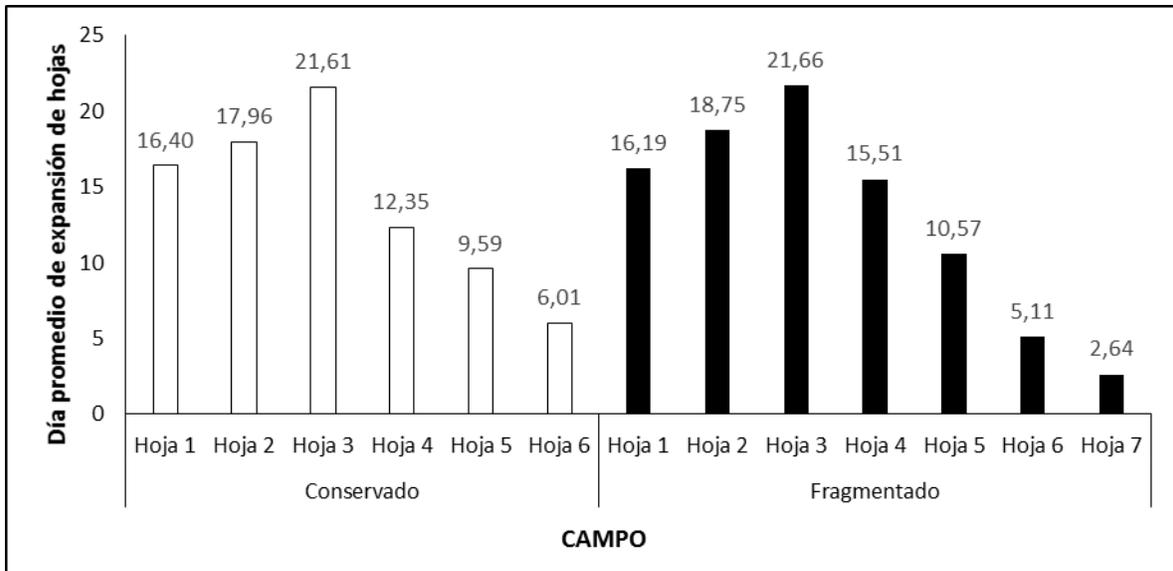
**Cuadro 1.** Valores de  $\chi^2$ , gl y P, para los análisis de vigor, donde se muestra si hay efecto de la madre, el experimento y la condición del bosque en cada una de las variables analizadas. Al igual que el efecto del peso de semilla (covariable), donde los valores de P significativos pueden estar dados por el efecto materno.

VARIABLES	MADRE			EXPERIMENTO			CONDICIÓN			COVARIABLE		
	$\chi^2$	gl	P	$\chi^2$	gl	P	$\chi^2$	gl	P	$\chi^2$	gl	P
<b>Análisis de vigor</b>												
Días exp. cotiledones	83.71	32	<.0001*	2046.18	1	<.0001*	0.8	1	0.3717	0.5849	1	0.5849
Días exp. primera hoja	103.75	32	<.0001*	97.45	1	<.0001*	1.95	1	0.1629	7.84	1	<b>0.0051*</b>
Días exp. Segunda hoja	123.69	32	<.0001*	1629.94	1	<.0001*	3.3	1	0.0689	54.4	1	<.0001*
Días exp. Tercera hoja	48.84	32	<b>0.0218*</b>	649.25	1	<.0001*	0.1	1	0.7477	4.07	1	<b>0.0435*</b>
Días exp. Cuarta hoja	33.18	30	0.3144	285.51	1	<.0001*	22.76	1	<.0001*	9.73	1	<b>0.0018*</b>
Días exp. Quinta hoja	14.24	29	0.99	-----	---	-----	11.93	1	<b>0.0006*</b>	0.76	1	0.38
Días exp. Sexta hoja	3.21	32	1	-----	---	-----	2.5	1	0.11	0.2	1	0.64

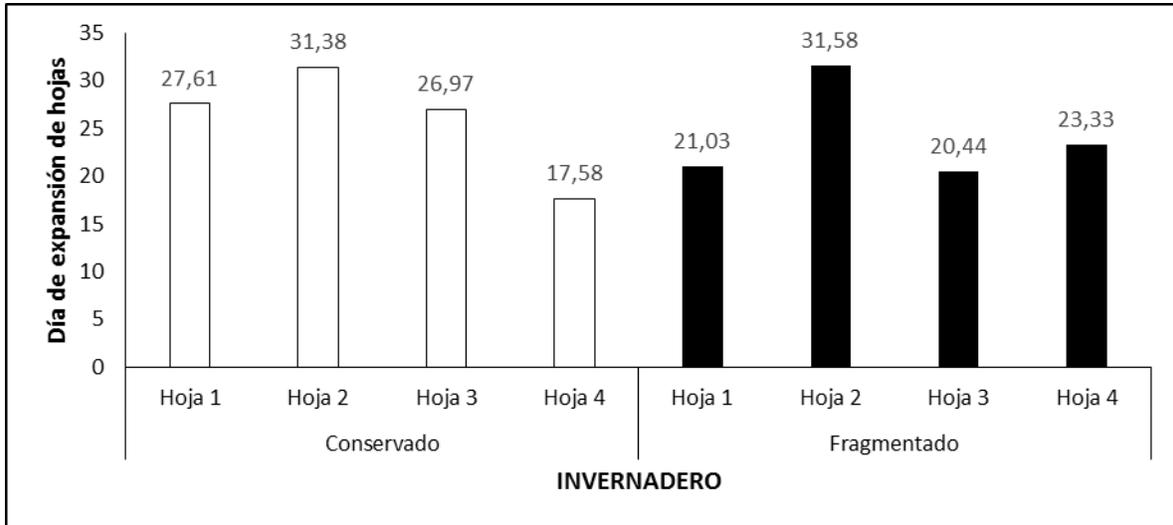
Para la altura total de las plántulas se presentaron diferencias estadísticamente significativas dadas por la condición ( $\chi^2=17.24$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ) y el experimento ( $\chi^2=1018.1$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ). Donde las plántulas del sitio fragmentado presentaron mayor altura que las del sitio conservado (Figura 12). Estos resultados concuerdan con los de Rivera-Hurtado (2011), donde obtiene que las plántulas de *Astronium graveolens* pertenecientes a los sitios fragmentados, presentaron mayores alturas. A diferencia de lo reportado por Ramírez-Rincón (2012), donde menciona que la mayor altura de las plántulas de *Ceiba pentandra* ocurrió en las progenies provenientes de sitios de bosque continuo.

En el caso de las alturas por experimento, las plántulas del experimento de campo fueron las que presentaron mayor altura (Figura 13). Siendo de igual manera las plántulas de sitios fragmentados dentro del experimento de campo las más altas. Esto se le puede atribuir principalmente al diámetro de la plántula, ya que este se encuentra ejerciendo un efecto significativo sobre la altura de estas ( $\chi^2=532.85$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ), donde tenemos que plántulas con diámetros más grandes son las que alcanzan las mayores alturas, y estos diámetros mayores se dieron en las plántulas del experimento de campo.

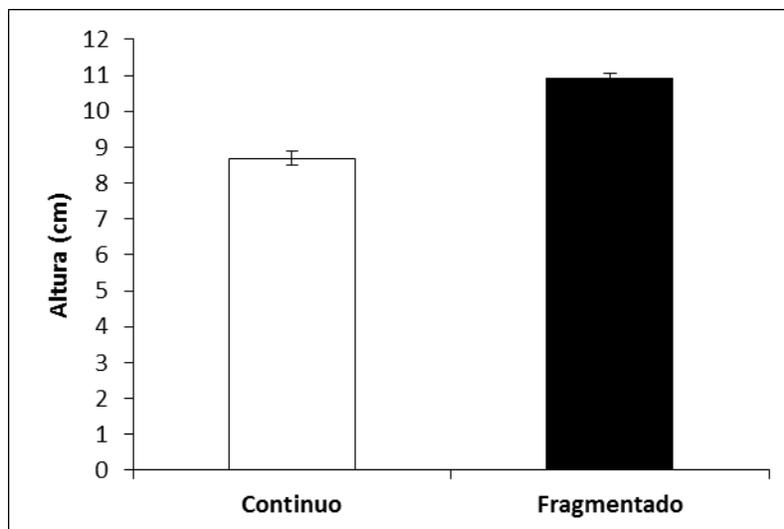
A diferencia de lo que se esperaría en cuanto al crecimiento de plantas, donde las plantas que se encuentran en sitios donde el recurso agua es limitado, estas le invierte más al crecimiento radical y no al aéreo (Tilman 1998), en este caso estamos viendo que las plántulas de sitios fragmentados le están invirtiendo más al crecimiento aéreo y las de bosque continuo al crecimiento radical.



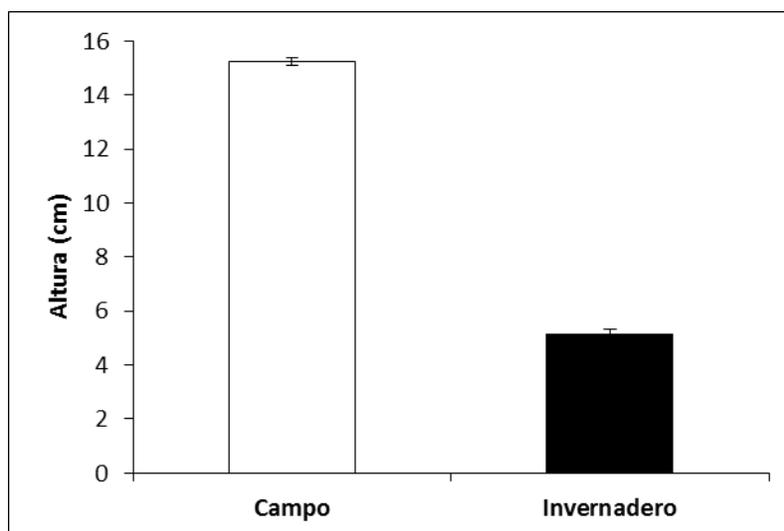
**Figura 11a.** Días promedio de expansión de las hojas del experimento de germinación en campo y la condición a la que pertenecen las madres de las progenies de *Tabebuia rosea*. Las etiquetas de las barras representan el valor de los días promedio que tardaron en expandir la hoja todas las plántulas de las madres de cada condición.



**Figura 11b.** Días promedio de expansión de las hojas del experimento de germinación en invernadero y la condición a la que pertenecen las madres de las progenies de *Tabebuia rosea*. Las etiquetas de las barras representan el valor de los días promedio que tardaron en expandir la hoja todas las plántulas de las madres de cada condición.



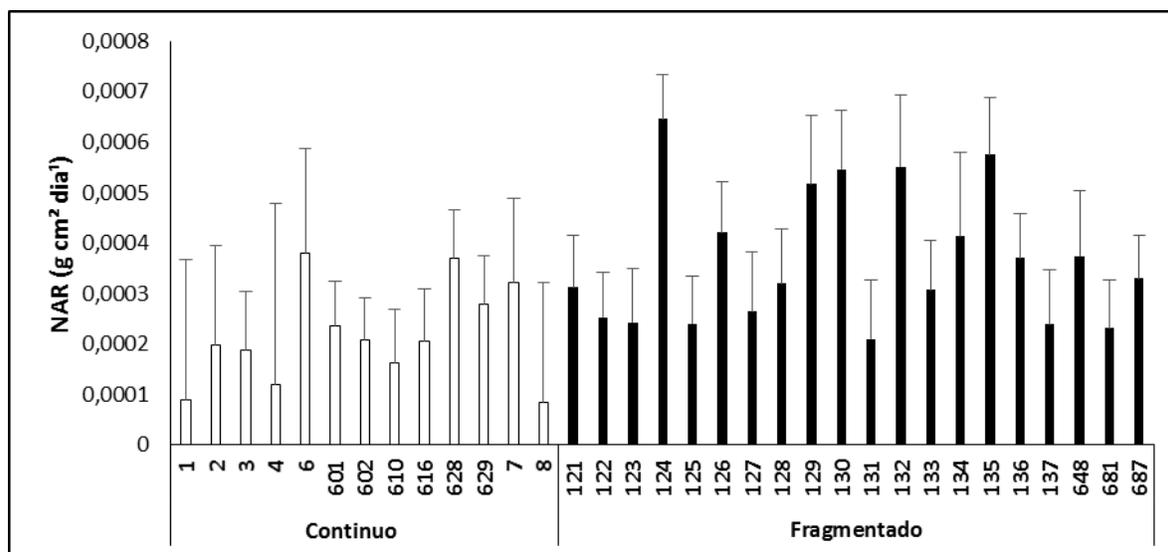
**Figura 12.** Altura final de las plántulas correspondiente a la condición de la progenie de *Tabebuia rosea* del sitio continuo y fragmentado ( $\chi^2=17.24$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ). Las barras representan el Error Estándar.



**Figura 13.** Altura final de las plántulas correspondiente al experimento (campo e invernadero) de germinación de la progenie de *Tabebuia rosea* ( $\chi^2=1018.1$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ). Las barras representan el Error Estándar.

### Análisis de crecimiento (características morfológicas y fisiológicas)

Para los análisis de crecimiento se utilizaron los parámetros (NAR, LWR, SLA, LAR, RGR, SWR y R/S), los cuales se elaboraron utilizando las variables de peso de raíz, tallo y hojas, así como el área foliar y el tiempo. El tiempo que se utilizó para los parámetros de crecimiento fue tomado hasta la expansión de la cuarta hoja, esto para poder hacer la comparación de los dos experimentos, y tener una estimación más fiable en la tasa de crecimiento (Porter y Garnier 1996)



**Figura 14.** Tasa de asimilación neta (NAR) correspondiente a la progenie de cada madre de *Tabebuia rosea* del sitio continuo y fragmentado ( $\chi^2=59.31$ ,  $gl=32$ ,  $P=0.0023$ ). Las barras representan el Error Estándar.

Para la tasa de asimilación neta (NAR), nuestros resultados muestran diferencias estadísticamente significativas en relación a las madres ( $\chi^2=59.31$ ,  $gl=32$ ,  $P=0.0023$ ) y el experimento ( $\chi^2=442.38$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ). Para el caso de las

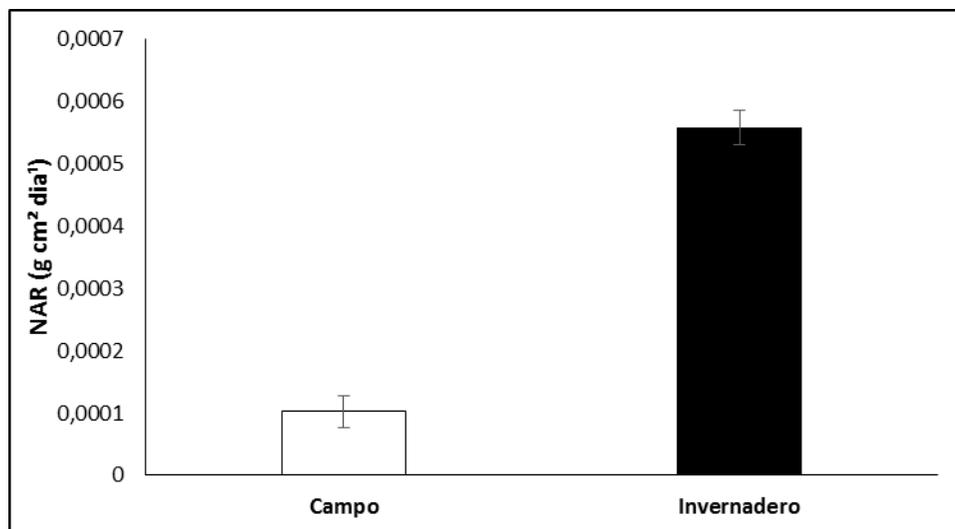
progenies de las madres de sitios fragmentados (35% de las madres), la tasa de asimilación neta fue mayor que en la progenie de madres de sitios conservados (14% de las madres) (Figura 14). Sin embargo, al analizar si existen diferencias en la tasa de asimilación neta de las plántulas de ambas condiciones, el porcentaje de madres que presenta diferencias en la progenie no es el suficiente para mostrar diferencias estadísticamente significativas. Mientras que para el caso de la comparación entre experimentos, se observa una clara diferencia en NAR, siendo en el invernadero donde se obtuvieron los mayores valores (Figura 15). La disminución de la tasa de asimilación neta en campo se le puede atribuir principalmente a que en los cuadrantes de campo se presentaron casos de autosombreado, ya que las plántulas alcanzaron gran altura y estas produjeron hojas de gran tamaño, por lo que, los bajos niveles en la NAR pueden ocurrir cuando el autosombreado es generado por el mayor tamaño del dosel vegetal y al aumento de la senescencia de las hojas (Escalante-Estrada y Kohashi-Shibata 1982).

En cuanto al SLA (área foliar específica), los resultados no muestran efecto de la madre ni la condición de los sitios en el SLA, esto coincide con lo reportado por Rivera-Hurtado (2011), donde menciona que para *Astronium graveolens*, la condición del sitio no mostró una diferencia significativa en cuanto al área foliar específica de las plántulas.

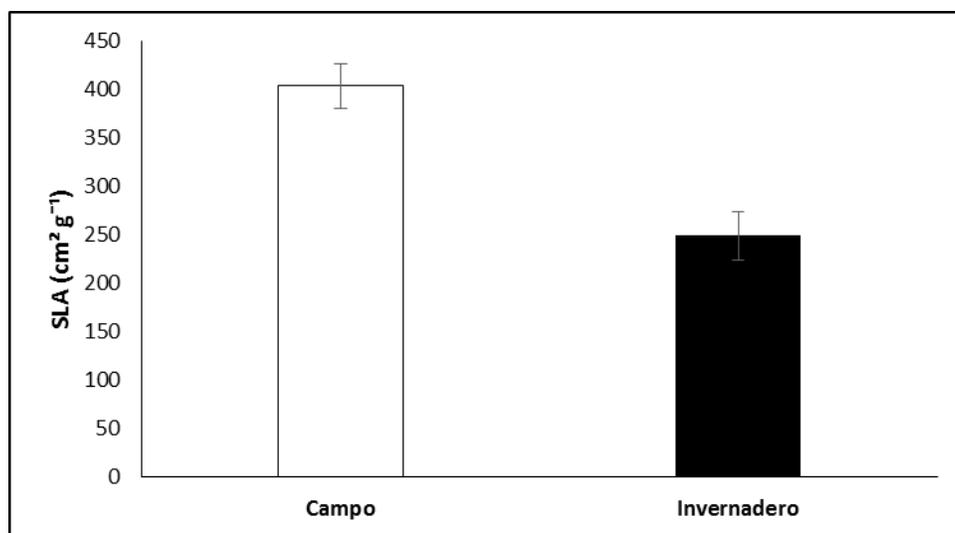
Para este caso, únicamente se observan diferencias estadísticamente significativas en el experimento ( $\chi^2=52.51$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ). Donde las plántulas que se encontraban en campo, presentaron valores mayores de área foliar específica,

a diferencia de las que se encontraban en el invernadero (Figura 16). Sin embargo, aunque de manera general no hubo diferencias de SLA entre condiciones, dentro del experimento de campo los valores de área foliar específica fueron mayores en las plántulas del bosque continuo ( $422.11 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ) que en las de sitios fragmentados ( $391 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ), y lo mismo ocurre en el experimento de invernadero lo cual se contrapone con los resultados publicados por Aguilar-Anguiano (2008) con *Ceiba aesculifolia*, donde menciona que las plántulas provenientes de sitios fragmentados fueron las que presentaron los valores más altos de área foliar específica.

El hecho de que las plántulas de campo presenten valores altos en SLA, puede deberse a que la incidencia de luz era mayor dentro de este experimento, ya que Lee *et al.* (2003) mencionan que el área foliar específica puede variar dependiendo de la intensidad lumínica. Y se sabe que *T. rosea* es una especie heliófita que requiere luz directa para su desarrollo (Augsburger 1984), por lo cual, Castro *et al.* (2000), mencionan que las especies más demandantes de luz regularmente presentan una elevada área foliar específica, además de altas concentraciones de nitrógeno en las hojas, sin embargo, una elevada SLA puede incrementar la fragilidad de las hojas, al tiempo que se incrementa el riesgo de pérdidas prematuras de tejido (Lusk 2002), mientras que en las hojas más densas y con menor SLA, como en el caso de las plántulas de sitios fragmentados, se presentan correlaciones altas con una mayor lignificación, menor tamaño celular, bajo contenido de humedad y baja concentración de nitrógeno (Castro *et al.* 2000).

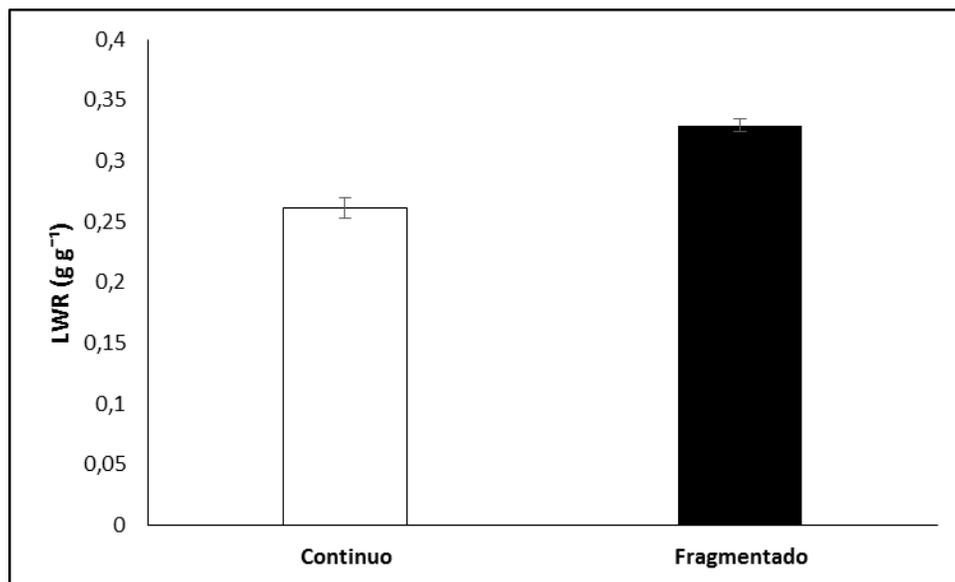


**Figura 15.** Tasa de asimilación neta (NAR) correspondiente al experimento (campo e invernadero) de germinación de la progenie de *Tabebuia rosea* ( $\chi^2=442.38$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ). Las barras representan el Error Estándar.



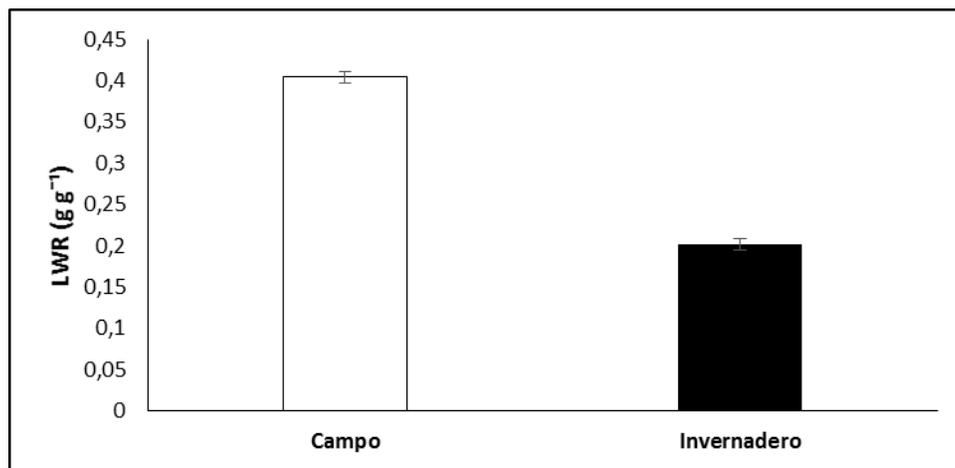
**Figura 16.** Área foliar específica (SLA) correspondiente al experimento (campo e invernadero) de germinación de la progenie de *Tabebuia rosea* ( $\chi^2=52.51$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ). Las barras representan el Error Estándar.

Los resultados para el índice de peso foliar (LWR), muestran diferencias estadísticamente significativas por la condición ( $\chi^2=30.68$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ) y el experimento ( $\chi^2=562.48$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ). En relación con la condición, las plantas provenientes de sitios fragmentados, fueron las que presentaron un índice de peso foliar mayor en comparación a las provenientes de sitios conservados (Figura 17). Por lo tanto, se podría decir que, debido a que las plántulas de sitios fragmentados le están invirtiendo más al crecimiento aéreo, estas pueden estar distribuyendo los fotoasimilados principalmente en las hojas y de una manera equitativa en la parte aérea, mientras que las de bosque continuo, la distribución de fotoasimilados se puede encontrar más enfocada en el incremento radical (Gaytan-Mascorro *et al.* 2004; Orozco-Vidal *et al.* 2011), (Figura 18).



**Figura 17.** Índice de peso foliar (LWR) correspondiente a la condición de la progenie de *Tabebuia rosea* del sitio continuo y fragmentado ( $\chi^2=30.68$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ). Las barras representan el Error Estándar.

La proporción de área foliar (LAR), es una variable que se utiliza ampliamente en estudios de fisiología, de crecimiento y de productividad en plantas, puesto que es un indicador de material estructural y energético que la planta produce o destina a sus órganos durante su desarrollo (Roberts *et al.* 1988; Zamski y Schaffer 1996). Para la proporción de área foliar en este caso, se observan diferencias estadísticamente significativas por la condición ( $\chi^2=21.49$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ) y el experimento ( $\chi^2=243.63$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ). Siendo las plántulas provenientes de sitios fragmentados y en el experimento en campo donde se presentó la mayor proporción de área foliar (Gráfico 19 y 20). Esto difiere con los resultados obtenidos por Ramírez-Rincón (2011), ya que para el caso de *C. pentandra*, la proporción de área foliar fue mayor en plántulas provenientes de sitios conservados. Por lo tanto, para este caso las plántulas de sitios fragmentados le están dando una inversión mayor a las estructuras foliares para la captación de luz, mientras que las de sitios conservados presentan una inversión mayor en estructuras de soporte (tallo y raíz) (Galmés *et al.* 2005).

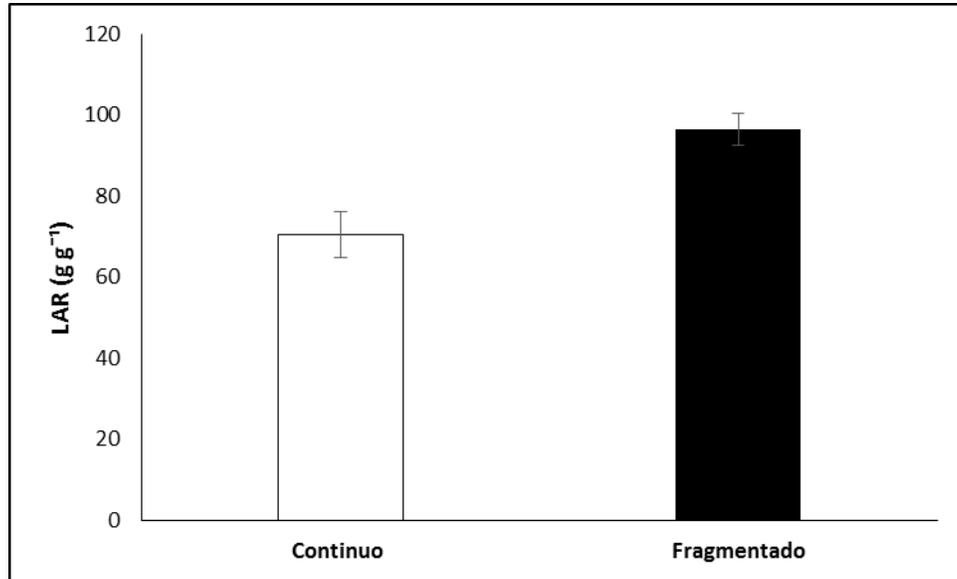


**Figura 18.** Índice de peso foliar (LWR) correspondiente al experimento (campo e invernadero) de germinación de la progenie de *Tabebuia rosea* ( $\chi^2=562.48$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ). Las barras representan el Error Estándar.

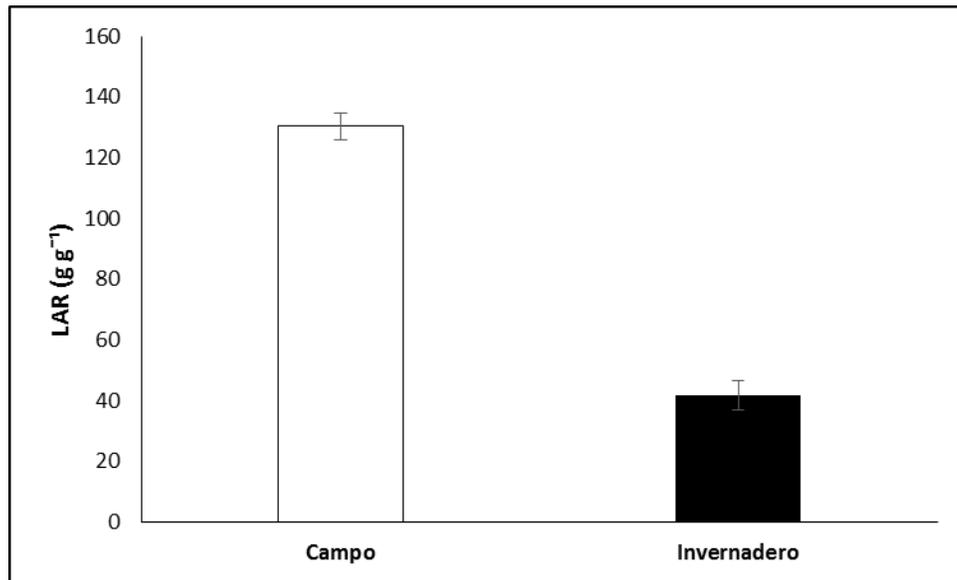
La tasa relativa de crecimiento (RGR) es la medida principal del análisis de crecimiento, y esta se define como la ganancia de biomasa por unidad de biomasa y tiempo (Villar *et al.* 2004) Para este caso, se muestran diferencias estadísticamente significativas en RGR dadas por la condición ( $\chi^2=357.22$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ) y el experimento ( $\chi^2=14.80$ ,  $gl=1$ ,  $P=.0001$ ). Donde las plántulas provenientes de sitios fragmentados, son las que presentaron la mayor tasa relativa de crecimiento (Figura 21). Esto coincide con lo reportado por Aguilar-Anguiano (2008), donde menciona que las plántulas de *C. aesculifolia* pertenecientes a sitios fragmentados presentaron una mayor RGR. Lo anterior puede deberse a que según Grime (1979), existen dos tipos de especies en cuanto al crecimiento, las de crecimiento lento que son las que podrían ser más tolerantes al estrés, y las de rápido crecimiento que suelen ser especies competidoras o colonizadoras de sitios perturbados. Para el caso de las plántulas de sitios fragmentados, estas presentaron alta RGR, y fue debido a esto que las plántulas aumentaron rápidamente de tamaño y lograron ocupar un mayor espacio aéreo, por lo cual Grime (1979) menciona que las plantas de este tipo tienen la oportunidad de adquirir una mayor participación en la limitación de los recursos como luz, nutrientes o el agua que un individuo de crecimiento lento.

Para el caso del experimento, la RGR fue mayor en el invernadero (Figura 22). A pesar de que las plántulas y las hojas eran más pequeñas en invernadero en comparación con las de campo, el peso de las hojas y el peso total de las plántulas de estas fueron mayor y esto estuvo dado principalmente por el

crecimiento radical y la biomasa de las hojas, ya que el aumento de tamaño aéreo fue muy lento.

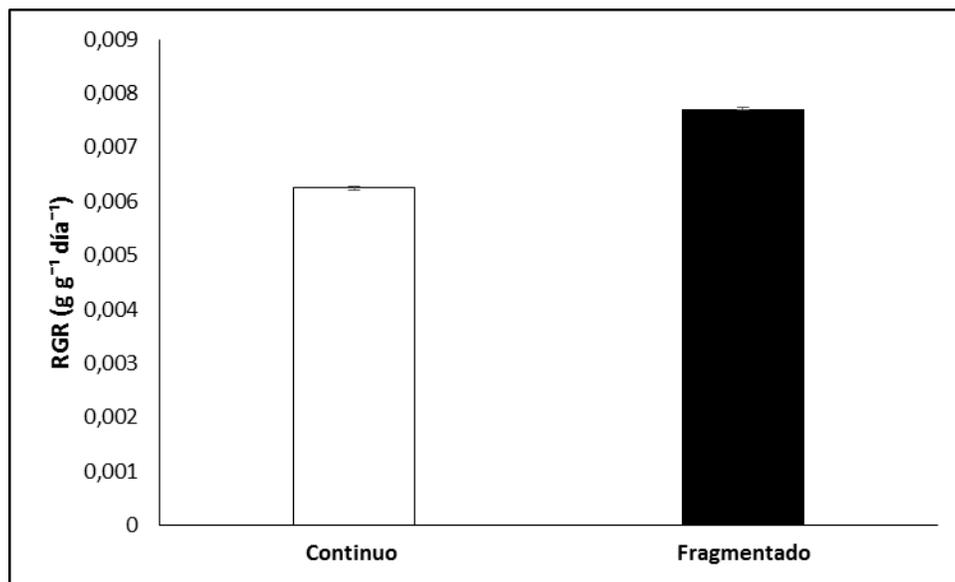


**Figura 19.** Proporción de área foliar (LAR) correspondiente a la condición de la progenie de *Tabebuia rosea* del sitio conservado y fragmentado ( $\chi^2=21.49$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ). Las barras representan el Error Estándar.

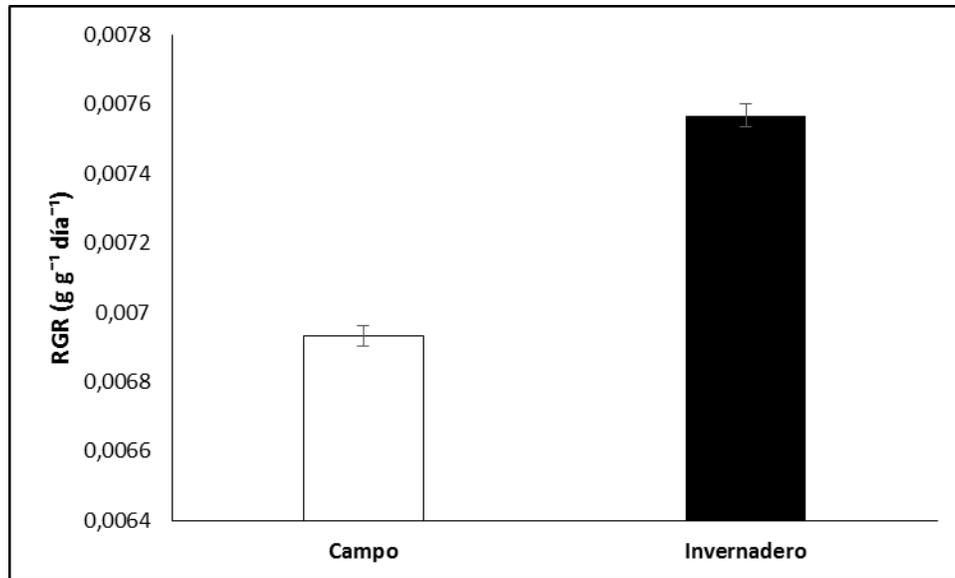


**Figura 20.** Proporción de área foliar (LAR) correspondiente al experimento (campo e invernadero) de germinación de la progenie de *Tabebuia rosea* ( $\chi^2=243.63$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ). Las barras representan el Error Estándar.

Para las plántulas que se encontraban en campo, se sugiere que estas podrían tener tasas más bajas de incorporación de fotosintatos y minerales en materia estructural, ya que estas los podrían estar reservando para el crecimiento posterior (Grime y Hunt 1975).



**Figura 21.** Tasa relativa de crecimiento (RGR) correspondiente a la condición de la progenie de *Tabebuia rosea* del sitio conservado y fragmentado ( $\chi^2=357.22$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ). Las barras representan el Error Estándar.



**Figura 22.** Tasa relativa de crecimiento (RGR) correspondiente al experimento (campo e invernadero) de germinación de la progenie de *Tabebuia rosea* ( $\chi^2=14.80$ ,  $gl=1$ ,  $P=.0001$ ). Las barras representan el Error Estándar.

Para el índice del peso del tallo (SWR) y la proporción de raíz/tallo (R/S), se presentan diferencias estadísticamente significativas dadas por la condición (SWR:  $\chi^2=19.97$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ) (R/S:  $\chi^2=24.71$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ) y el experimento (SWR:  $\chi^2=85.79$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ) (R/S:  $\chi^2=228.89$ ,  $gl=1$ ,  $P<.0001$ ). Donde las plántulas provenientes de sitios fragmentados, fueron las que presentaron valores mayores en el índice del peso del tallo y en R/S, a diferencia de las de sitios conservados. Mientras que para el experimento, R/S y SWR fueron mayor en condiciones de invernadero. Debido a que existe una importante relación del tallo y la raíz, y que esta se establece por su influencia en el balance hídrico de la planta, ya que una cierta cantidad de superficie foliar que transpira necesita una cierta cantidad de raíz para absorber el agua que es eliminada por las hojas, valores bajos en SWR y R/S, como es el caso de las plántulas de sitios

conservados, indican mayor abundancia de raíces, las cuales son más deseables para la sobrevivencia (Bernier *et al.* 1995).

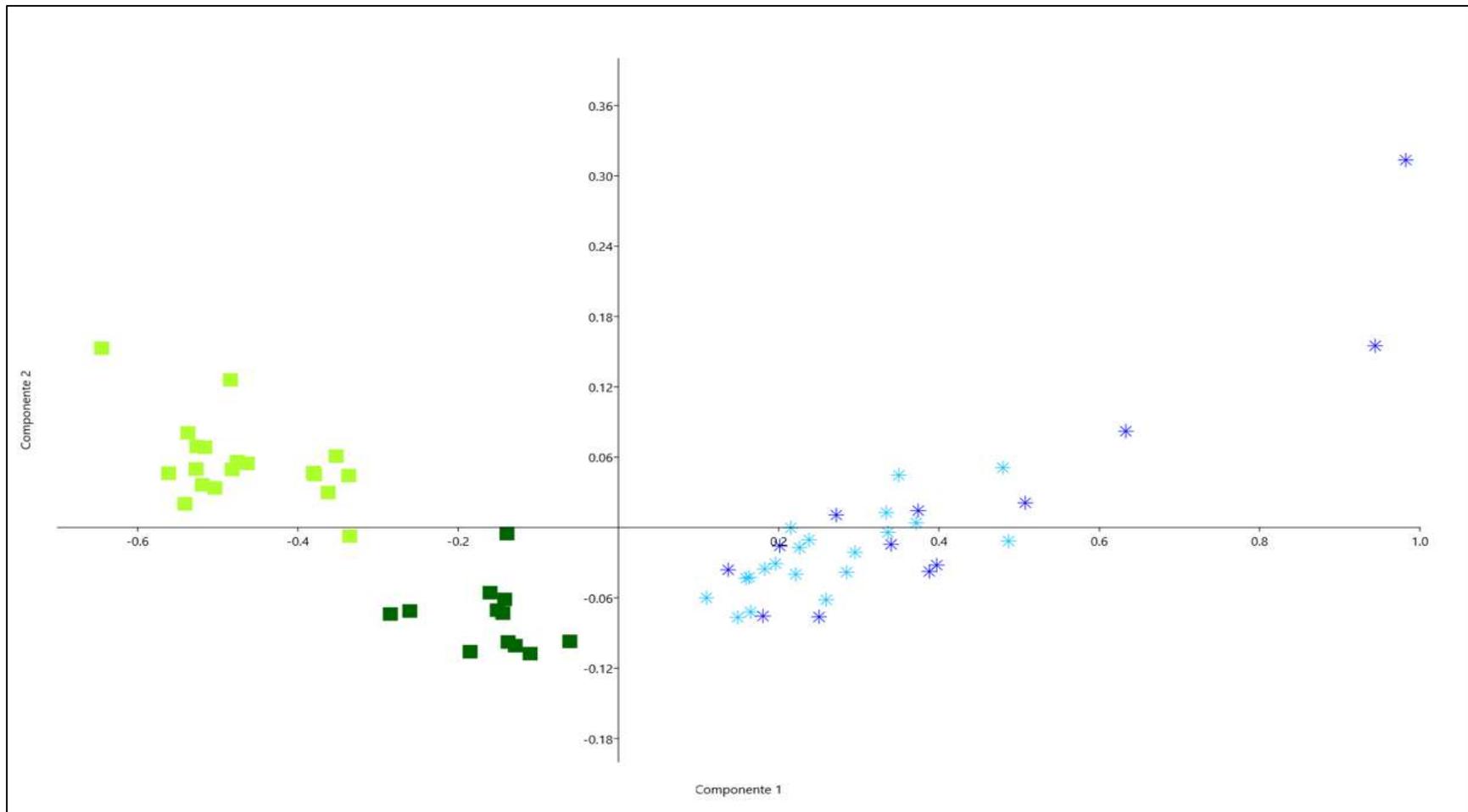
Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP), utilizando los parámetros de crecimiento y las madres de las progenies como objeto de ordenación (Figura 23). La variable que determinó la ordenación en el componente principal uno, con 96% de la variación explicada, fue la proporción raíz/tallo (R/S). En este componente quedaron ordenadas todas las plántulas del experimento en invernadero, y no hubo separación entre las condiciones de los sitios procedencia (continuo y fragmentado). En el segundo componente, con un 3% de variación explicada, la ordenación se da por el índice del peso foliar (LWR), en esta ordenación se encuentran representadas todas las plántulas provenientes de sitios fragmentados del experimento de campo. De igual manera, la ordenación de las plántulas pertenecientes al bosque continuo está dada principalmente por el índice del peso del tallo (SWR).

Existe variación diferencial en el crecimiento de las plántulas de nuestros experimentos, ya que el crecimiento estuvo enfocado en tres direcciones durante el desarrollo de estas, las cuales se encuentran estrechamente relacionadas con la condición del sitio de procedencia, específicamente para el caso de las plántulas del experimento en condiciones semicontroladas. Las plántulas de los sitios fragmentados, el crecimiento estuvo enfocado principalmente en la producción del follaje, donde tuvimos plántulas de tallas medianas pero con una mayor producción de hojas; mientras que en las provenientes de sitios continuos el crecimiento estuvo enfocado principalmente en la producción de tallos, donde

tuvimos plántulas con áreas foliares menores a las de sitios fragmentados, pero longitudes y pesos de tallos de mayor tamaño. Por lo tanto, en este experimento se presentó un crecimiento enfocado principalmente en las partes aéreas de las plántulas. Lo cual, al tenerlas en condiciones semicontroladas en campo, el fotoperiodo, la temperatura y la disponibilidad de agua eran diferentes a las que se encontraban las plántulas del experimento en condiciones controladas.

Para el caso de las plántulas del experimento en condiciones controladas, no hubo variación en el crecimiento entre los sitios de procedencias de estas, ya que el crecimiento de las plántulas de ambas condiciones estuvo enfocado principalmente en el desarrollo de raíces. Teniendo plántulas de talla pequeña y con poca producción de hojas, pero con una gran producción de raíces, a diferencia de las del experimento en condiciones semicontroladas en campo.

Por último, debido a que *Tabebuia rosea* es una especie de importancia maderable, las poblaciones de esta se encuentran en una constante disminución, sin embargo en este trabajo se demostró que esta especie presenta una capacidad regenerativa muy grande, viéndola desde la germinación hasta la sobrevivencia. Por lo tanto, al no verse afectada de manera negativa por la fragmentación, esta especie sería muy importante para llevar a cabo programas de reforestación en sitios fragmentados del bosque tropical seco.



**Figura 23.** Componentes principales para todos los parámetros de crecimiento evaluados en las plántulas de *Tabebuia rosea*. Los símbolos cuadradas corresponden al experimento de campo y los asteriscos al experimento de invernadero, el color verde y azul fuerte corresponden a las plántulas de sitios continuos, y el color verde y azul claro corresponde a las plántulas de sitios fragmentados.

#### 4. CONCLUSIÓN

La fragmentación del bosque no afecta de manera negativa el vigor de progenie y el establecimiento temprano de las plántulas de *Tabebuia rosea*, puesto que la progenie de los árboles de sitios fragmentados fueron más vigorosos y lograron establecerse mejor que los de sitios de bosque continuo, lo cual se debe principalmente a que esta es una especie que requiere grandes cantidades de luz, y es por eso que se muestra esta preferencia por sitios fragmentados. Sin embargo, este efecto no se muestra en las primeras etapas de crecimiento, ya que durante este periodo se vio reflejado el efecto materno en las plántulas.

Debido a que en el experimento de campo fue donde se expresaron mejor los atributos de crecimiento en las plántulas, sería de suma importancia seguir con las mediciones de las plantas hasta que alcancen el estadio juvenil, para evaluar si estas continúan con el mismo desempeño y no se ve afectada la sobrevivencia, para posteriormente determinar de manera certera la gran capacidad regenerativa que presenta *Tabebuia rosea*, viéndola desde la germinación hasta la sobrevivencia, y así tomarla en cuenta para poder llevar a cabo programas de reforestación en sitios fragmentados del bosque tropical seco.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Aguilar, M. de J. 2011. Efecto de la fragmentación del hábitat sobre el establecimiento temprano de *Astronium graveolens* y *Brosimum alicastrum*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología-UMSNH. Morelia, Michoacán, México. 48p.
- Aguilar-Anguiano M.J. 2008. Efecto de la fragmentación en el vigor temprano de la progenie de *Ceiba aesculifolia*: en la biosfera de Chamela-Cuixmala, Jalisco, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología-UMSNH. Morelia, Michoacán, México. 71p.
- Augspurger, C. K. 1984. Seedling survival of tropical tree species: interactions of dispersal distance, light-gaps, and pathogens. *Ecology*, 65:1705-1712.
- Bawa K. S., 1974. Breeding systems of tree species of a lowland tropical community. *Evolution*, 28:85-92.
- Bernier, P. Y., Lamhamedi, M. S., & Simpson, D. 1995. Shoot: Root ratio is of limited use in evaluating the quality of container conifer stock. *Tree Planters*, 46:102-106.
- Bertsch C.S. 1985. Germinación y crecimiento del guanacaste *Enterolobium Cyclocarpum* (Jacq.) Griseb en vivero y en el campo. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. San José, Costa Rica. 68 p.
- Bullock, S. H. y Solis-Magallanes, J. A. 1990. Phenology of canopy trees of a tropical deciduous forest in México. *Biotropica*, 22: 22-35

- Bustamante, R. y Grez, A. 1995. Consecuencias ecológicas de la fragmentación de los bosques nativos. *Ciencia y ambiente*, 11: 58-63.
- Cascante A., M. Quesada, J. A. Lobo, y E. J. Fuchs. 2002. Effects of dry tropical forest fragmentation on the reproductive success and genetic structure of the tree, *Samanea saman*. *Conservation Biology*, 16:137-147.
- Castro PD, Puyravaud JP, Cornelissen JHC; 2000: Leaf structure anatomy as relate to leaf mass per area variation in seedlings of a wide range of woody plant species and types. *Oecologia*, 124:476-486.
- Ceballos, G. y A. García. 1995. Conserving neo-tropical biodiversity: the role of dry forest in México. *Conservation Biology*, 9:1349-1356.
- Daws, M.I., Bolton, S., Burslem, D.F.R.P., Garwood, N.C. And Mullins, C.E., 2007. Loss of desiccation tolerance during germination in neo-tropical pioneer seeds: implications for seed mortality and germination characteristics. *Seed Science Research*, 17:273-281.
- Escalante-Estrada, J.A. y J. Kohashi-Shibata. 1982. Efecto del sombreado artificial sobre algunos parámetros del crecimiento en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agrociencia*, 48:29-38.
- Evans y G. Clifford. 1972. The quantitative analysis of plant growth. University of California Press. Vol. 1. Berkeley, CA, USA. 734 p.
- Fahrig L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 34:487-515.
- Galmes, J., Cifre, J., Medrano, H., & Flexas, J. 2005. Modulation of relative growth rate and its components by water stress in Mediterranean species with different growth forms. *Oecologia*, 145:21-31.

- Gaytán-Mascorro, A., Palomo-Gil, A., Reta-Sánchez, D. G., Godoy-Ávila, S., & García-Castañeda, E. A. 2004. Respuesta del algodón cv. Cian precoz 3 al espaciamiento entre surcos y densidad poblacional. I. Rendimiento, precocidad y calidad de fibra. *Phyton*, 73:57-67.
- Grime, J. P. 2006. Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties. John Wiley & Sons. 2ed, 222 p.
- Grime, J. P., & Hunt, R. 1975. Relative growth-rate: its range and adaptive significance in a local flora. *The Journal of Ecology*, 393-422.
- Herrerías-Diego, Y., Quesada, M., Stoner, K. y Lobo, J., 2006. Effects of forest fragmentation on phenological patterns and reproductive success of the Tropical Dry Forest tree *Ceiba aesculifolia*. *Conservation Biology*, 20:1111-1120.
- Hunt R. 1982. Plant Growth Curves: the Functional Approach to Plant Growth Analysis. London. 248 p.
- Hunt R. 1990: Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners. London. 112 p.
- Lázaro-Zermeño, J. M., González-Espinosa, M., Mendoza, A., Martínez-Ramos, M., & Quintana-Ascencio, P. F. 2011. Individual growth, reproduction and population dynamics of *Dioon merolae* (Zamiaceae) under different leaf harvest histories in Central Chiapas, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 261:427-439.
- Lusk, C. H. 2002. Leaf area accumulation helps juvenile evergreen trees tolerate shade in a temperate rainforest. *Oecologia*, 132:188-196.

- Martins, J. R., Edvaldo, A. A. S., Alvarenga, A. A., Rodrigues, A. C., Ribeiro, D. E., & Toorop, P. E. 2015. Seedling survival of *Handroanthus impetiginosus* (Mart ex DC) Mattos in a semi-arid environment through modified germination speed and post-germination desiccation tolerance. *Brazilian Journal of Biology*, 75:812-820.
- Masera, O. R., M. J. Ordóñez y R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Mexican forest: current situation and long-term scenarios. *Climate Changes* 35:265-295.
- Miles, L., Newton A. C., De Fries R. S., Ravilious C., May I., Blyth S., Kapos V. y Gordon J. E. 2006. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*. 33:491-505.
- Murphy, P.G. y A.E. Lugo. 1986. Ecology of tropical dry forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17:67-88.
- Noguera F. A., Vega-Rivera J. H., Garcia-Aldrete A. N. & M. Quesada-Avendaño. 2002. *Historia Natural de Chamela*. Instituto de Biología, UNAM. México. 568 p.
- Orozco-Vidal, J. A., Yescas-Coronado, P., Segura-Castruita, M. A., Valdez-Cepeda, R., de Celis, E. M. R., Montemayor-Trejo, J. A., & Preciado-Rangel, P. 2011. Análisis de crecimiento de tres variedades de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en una región árida de México. *Phyton*, 80: 47-52.
- Poorter, H. 1989. Interspecific variation in relative growth rate: on ecological causes and physiological consequences. *Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants*, 24:45-68.

- Poorter, H., & Garnier, E. 1996. Plant growth analysis: an evaluation of experimental design and computational methods. *Journal of Experimental Botany*, 47:1343-1351.
- Primack R., R. Rozzi, P. Feinsinger, P., R. Dirzo, y F. Massardo. 2001. *Fundamentos de Conservación Biológica. Perspectivas Latinoamericanas.* Fondo de Cultura Económica. México, D. F. 183-221 pp.
- Quesada M., & Stoner, K. E. 2004. Threats to the conservation of the tropical dry forest in Costa Rica. *Biodiversity Conservation in Costa Rica: Learning the Lessons in a Seasonal Dry Forest.* 266-280 pp.
- Quesada M., E. J. Fuchs y J. A. Lobo. 2001. Pollen load size, reproductive success, and progeny kinship of naturally pollinated of the tropical dry forest tree *Pachira quinata* (Bombacaceae). *American Journal of Botany* 88:2113-2118.
- Ramirez-Rincón F. N. 2012. Efecto de la fragmentación sobre el vigor de la progenie de *Ceiba pentandra* en la Reserva de la Biósfera Chamela-Cuixmala, Jalisco, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología-UMSNH. Michoacán, México. 56 p.
- Rivera-Hurtado E. 2011. Efecto de la fragmentación sobre el vigor temprano de la progenie de (*Astronium graveolens*); en la reserva de la biosfera Chamela-Cuixmala; Jalisco, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología-UMSNH. Michoacán, México. 40 p.
- Roach, D. A. y R. Wulff. 1987. Maternal effects in plants: evidence and ecological and evolutionary significance. *Annual Review of Ecology and Systematics* 18:209-235.

- Roberts, L.W., Gahan, P.B., and Aloni, R. 1988. Vascular Differentiation and Plant Growth Regulators. Springer Science y Business Media. 154 p.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa, México, D.F. 432 p.
- Saunders, D.A., R.J. Hobbs y C.R. Margules. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology* 5:118-32.
- Tilman, D. 1998. The greening of the green revolution. *Nature*, 396:211-212.
- Trejo, I. y R. Dirzo. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation* 94:133-142.
- Trujillo E. 1990. Manejo de semillas, viveros y plantación inicial. Bogotá:PRINTER.
- Vargas, J. A., Duque, O. L., & Torres, A. M. 2015. Seed germination of four tree species from the tropical dry forest of Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 63:249-261.
- Vieira, D. L. M., de Lima, V. V., Sevilha, A. C., & Scariot, A. 2008. Consequences of dry-season seed dispersal on seedling establishment of dry forest trees: Should we store seeds until the rains. *Forest Ecology and Management*, 256:471-481.
- Vieira, D. L., & Scariot, A. 2006. Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration. *Restoration Ecology*, 14:11-20.
- Villar, R., Ruiz-Robledo, J., Quero, J. L., Poorter, H., Valladares, F., & Marañón, T. 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*, 191-227 pp.
- Villar, R., Ruiz-Robledo, J., Quero, J. L., Poorter, H., Valladares, F., & Marañón, T. 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e

implicaciones ecológicas. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*, 191-227 pp.

Vovides, A. P. 1990. Spatial distribution, survival, and fecundity of *Dioon edule* (Zamiaceae) in a tropical deciduous forest in Veracruz, Mexico, with notes on its habitat. *American Journal of Botany*, 77:1532-1543.

Wright, I. J., & Westoby, M. 2001. Understanding seedling growth relationships through specific leaf area and leaf nitrogen concentration: generalizations across growth forms and growth irradiance. *Oecologia*, 127:21-29.

Zamski, E., & Schaffer, A. A. 1996. Photoassimilate distribution in plants and crops: source-sink relationships. Marcel Dekker. 99-121 pp.