

## Informe final\* del Proyecto LI022

### Estado actual de las poblaciones de *Bryophyllum pinnatum* en la planicie costera veracruzana y su impacto en la regeneración de plantas nativas de la selva baja caducifolia que crece en mal país, en la planicie costera veracruzana\*

<b>Responsable:</b>	Dr. Roger Enrique Guevara Hernández
<b>Institución:</b>	Instituto de Ecología A. C.
<b>Dirección:</b>	Carretera antigua a Coatepec # 351, El Haya, Xalapa, Ver, 91070 , México
<b>Correo electrónico:</b>	<a href="mailto:roger.guevara@inecol.mx">roger.guevara@inecol.mx</a>
<b>Teléfono/Fax:</b>	(228) 8 42 18 00 ext. 2000, 3005
<b>Fecha de inicio:</b>	Mayo 29, 2015.
<b>Fecha de término:</b>	Diciembre 15, 2017.
<b>Principales resultados:</b>	Base de datos, fotografías, Informe final.
<b>Forma de citar** el informe final y otros resultados:</b>	Guevara R., Ruiz-Guerra, B., Aguilar-Chama, A., Velázquez-Rosas, N., Sevillano García-Mayeya L. y M. de Los Santos. 2017. Estado actual de las poblaciones de <i>Bryophyllum pinnatum</i> y su impacto en la regeneración de plantas nativas de la Selva Baja Caducifolia que crece en mal país, en la planicie costera Veracruzana. Instituto de Ecología, A. C. <b>Informe final CONABIO, proyecto No. LI022.</b> Ciudad de México

#### Resumen:

El estado de Veracruz ocupa el primer lugar a nivel nacional en número de plantas invasoras, entre estas destaca *Bryophyllum pinnatum* (Crassulaceae) que es considerada una especie de alto riesgo de acuerdo al Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. *Bryophyllum pinnatum* es una especie altamente invasiva, ya que se propaga asexual (estolones y propágulos foliares) y sexualmente. Cada planta produce miles de semillas anualmente y son dispersadas por viento. Además, aparentemente no presenta enemigos naturales fuera de su área de distribución original. Si bien estas características hacen de *Bryophyllum pinnatum* una especie potencialmente invasora, la información sobre su biología reproductiva, sus interacciones con enemigos naturales y de los parámetros demográficos de sus poblaciones es muy limitada. No existen evaluaciones del impacto de esta especie en las poblaciones de plantas nativas. Esto último es especialmente grave en la selva baja caducifolia que crece en mal país de la planicie costera veracruzana, dada la gran diversidad de plantas que ahí se concentra, que incluye un elevado número de endemismos. Por estas razones, la conservación de este ecosistema ha sido considerada prioritaria, ya que se cree que estas selvas fueron refugios pleistocénicos. A la fecha hemos registrado numerosas poblaciones *Bryophyllum pinnatum* en la selva baja caducifolia que crece en mal país en el estado de Veracruz. En estos sitios la presencia de ganado caprino (*Capra hircus*) podría potenciar la capacidad invasiva de *Bryophyllum pinnatum*, debido a que las cabras no consumen esta especie, pero si a muchas especies nativas. Esta combinación de factores pone en riesgo la regeneración de la selva baja. Nuestros estudios preliminares con parcelas de exclusión muestran que la riqueza, abundancia y diversidad de especies de plantas en regeneración disminuye con la presencia de *Bryophyllum pinnatum*, pero a la fecha no hemos detectado un efecto significativo de la presencia de las cabras, por lo que es necesario extender el tiempo de observación en las parcelas para detectar efectos de mediano y largo plazo.

- 
- \* El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)
  - \*\* El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

## Informe Final proyecto LI022

**Estado actual de las poblaciones de *Bryophyllum pinnatum* y su impacto en la regeneración de plantas nativas de la selva baja caducifolia que crece en mal país, en la planicie costera veracruzana.**

**Responsable:** Dr. Roger E. Guevara Hernández

**Institución:** Instituto de Ecología A.C. (INECOL)

**Dirección:** Carretera antigua a Coatepec 351, col. El Haya, C.P 91070

**Correo electrónico:** roger.guevara@inecol.mx

**Tel-Fax:** (228) 8 42 18 00 ext. 2000, 3005

**Fecha de inicio:** 15 junio 2015

**Fecha de término:** 15 noviembre 2016

**Principales resultados:** 1.- Georreferenciación de las poblaciones de *Bryophyllum pinnatum*, 2.- Descripción de las características reproductivas de *B. pinnatum*, 3.- Tasas vitales de *B. pinnatum*, 4.- Modelos integrales de proyección de *B. pinnatum*, 5.- Impacto de *B. pinnatum* en el reclutamiento de plantas nativas, 6.- Efectos alelopáticos de *B. pinnatum* sobre la germinación y crecimiento de plantas nativas, 7.- Recomendaciones encaminadas al control y erradicación de *B. pinnatum* en la selva baja caducifolia que crece en mal país, 8.- Imágenes de *B. pinnatum* en diferentes estadios de desarrollo y sus impactos, 9.- Materiales de difusión: tríptico informativo sobre los riesgos que representa *B. pinnatum* y un artículo de divulgación, 10.- Revisión y actualización de la información del análisis de riesgo y ficha informativa de *B. pinnatum* desarrollada por CONABIO, 11.- Bases de datos de los registros georreferenciados de *B. pinnatum*.

## Resumen

*Bryophyllum pinnatum* (Crasulaceae) es considerada una especie de alto riesgo en México y ha sido reportada como invasora en otros países. Los principales daños que causa son disminución de la diversidad, debido a la competencia por recursos y a la producción de compuestos alelopáticos que inhiben la germinación de plantas nativas. También se ha reportado envenenamiento de ganado ya que presenta una gran cantidad de compuestos tóxicos en sus tejidos. En México, la información sobre las consecuencias de esta especie en comunidades naturales es muy limitada. Esto último es especialmente preocupante en la selva baja que crece en basalto volcánico (mal país) en el centro de Veracruz, la cual destaca por su enorme diversidad y endemismos, donde hemos registrado una amplia distribución de ésta especie. Considerando el riesgo que representa, en este trabajo realizamos un diagnóstico del estado de invasión de la selva baja caducifolia que crece en mal país por *B. pinnatum* y evaluamos su impacto en la germinación, crecimiento, reclutamiento, supervivencia y diversidad de plantas nativas, y desarrollamos modelos de dinámica poblacional. Nuestros resultados muestran que esta especie es abundante en la selva baja que crece en mal país y en sitios perturbados. A partir del modelo obtuvimos una tasa asintótica de crecimiento poblacional de  $\lambda=1.88$ . Esto indica, un incremento importante de la población (88% anual), los individuos juveniles, son los que más contribuyen a la tasa de crecimiento poblacional. La presencia de *B. pinnatum* disminuye drásticamente el reclutamiento, la germinación, la abundancia y diversidad de plantas nativas. La presencia de *B. pinnatum* incrementa el porcentaje de materia orgánica, carbono y nitrógeno en el suelo. Esto a largo plazo puede generar cambios en el ciclaje de nutrientes a través de efectos en cascada. Considerando estos efectos y la importancia de las selvas bajas caducifolias en México, resulta prioritario que se reconozca a *B. pinnatum* como una especie invasora establecida en México. Por último, proponemos algunas de las estrategias de prevención y control de *B. pinnatum* en el sitio de estudio.

**Palabras clave:** *Bryophyllum pinnatum*, selva baja caducifolia, plantas invasoras, reclutamiento, crecimiento poblacional

## Abstract

*Bryophyllum pinnatum* (Crassulaceae) is an annual plant considered a high-risk species in Mexico and has been reported as invasive in other countries, this species decreased diversity due to competition for resources and the production of allelopathic compounds that inhibit the germination of native plants. It has also been reported to be toxic to cattle since it presents a large amount of toxic compounds in their tissues. In Mexico the information about the consequences of this species in natural communities is very limited. The latter is especially worrying in the lowland rainforest growing on volcanic basalt in central Veracruz, which stands out for its enormous diversity and endemic species, and where we have registered large patches of this species. Taking in account the risk of this species, in this project we made a diagnosis of the state of invasion of tropical dry forest which grows in basaltic soil by *B. pinnatum* and evaluate its impact on germination, growth, recruitment, survival and diversity of native plants. We also develop models of population dynamics. Our results show *B. pinnatum* is located mainly in tropical dry forest with basaltic soil and in places with some disturbance of habitat. From the model we obtained an asymptotic rate of population growth of  $\lambda = 1.88$ . This indicates, a significant increase (88% per year), the juvenile individuals, are the ones that contribute most to the population growth rate. The presence of *B. pinnatum* drastically decreases the recruitment, abundance and diversity of native plants. *B. pinnatum* increases the percentage of organic matter, carbon and nitrogen in the soil, which could generate long-term changes in nutrient cycling through cascading effects. Taking in a count the negative effects and the importance of tropical dry forest in Mexico, *B. pinnatum* must be recognized as an invasive species established in Mexico. Finally we suggest some strategies for prevention and control of *B. pinnatum* in the study site.

## **Antecedentes**

La introducción de especies exóticas invasoras ha sido catalogada como la segunda causa de pérdida de biodiversidad a nivel global (Vitousek 1997; Aguirre-Muñoz et al. 2009). La velocidad y el número de introducciones ha ido aumentando a lo largo de la historia. Sin embargo, es a partir de las últimas décadas que ha alcanzado ritmos sin precedentes debido a la extensión del comercio y la mayor eficacia de los medios de transporte, que han acortado la duración de los viajes, permitiendo la supervivencia de las especies transportadas. Esto ha propiciado que se multiplique la escala espacial y temporal de las introducciones. Para que una especie exótica introducida en un nuevo ambiente se considere invasora debe atravesar dos filtros: uno biogeográfico (solventado por los medios de transporte, introducciones involuntarias, etc.), otro biológico determinado por sus características biológicas y del ecosistema. De hecho no todas las especies introducidas se convierten en invasoras, esto depende de la especie, del ecosistema receptor y de la modalidad de la introducción (Capdevila-Argüelles et al. 2013). Las especies exóticas invasoras son aquellas introducidas en un ecosistema fuera de su área de distribución original y cuyas características les confieren la capacidad de colonizar y establecerse exitosamente (Invasive Species Specialist Group/International Union for Conservation of Nature). Los efectos negativos de las especies invasoras no se restringen a los ecosistemas naturales, sino que también se han registrado grandes pérdidas en la agricultura, salud humana, animal y vegetal y en la economía (Holm et al. 1997). Por sus enormes implicaciones las invasiones biológicas se han vuelto un tema prioritario en diversos países de primer mundo (Gardener et al. 2012). Desafortunadamente para el caso de Latinoamérica los estudios de los efectos de las especies invasoras sobre la biodiversidad y procesos ecosistémicos es muy limitada. De hecho es a partir de las últimas dos décadas que se han realizado estudios que analizan esta problemática (Gardener et al. 2012). En el caso particular de México, pese a que el interés por parte del sector gubernamental y académico hacia este problema se ha acrecentado en los últimos años, la información sobre las especies invasoras en el país y sus repercusiones se encuentra en etapas iniciales (Aguirre-Muñoz et al. 2009). Las acciones se han enfocado básicamente a aquellas especies invasoras que causan daños económicos a las actividades agrícolas y pecuarias, mientras que el conocimiento de consecuencias sobre los impactos ambientales, sociales y económicos no han podido ser valorados en toda su dimensión. Actualmente el Sistema Nacional sobre Especies Invasoras de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) ha identificado 1, 957 especies que incluyen

especies exóticas introducidas (956), exóticas no introducidas que representan un riesgo para el país (143), exóticas cuyo estatus de presencia se desconoce (549) y algunas nativas translocadas que tienen comportamiento invasivo (309). Se cuenta con registros para 385 de éstas especies en el país y con fichas de análisis de riesgo para 461 especies (Conabio 2014). Si bien se ha avanzado de manera notoria en el inventario de especies exóticas invasoras presentes en el territorio nacional, no se sabe con certeza cuántas especies exóticas invasoras están establecidas en México, cuál es su distribución, ni sus tamaños poblacionales y mucho menos las consecuencias sobre la biota residente (Comité Asesor sobre Especies Invasoras en México 2010). Esta carencia de información limita nuestra capacidad para generalizar y predecir sus impactos (Vilà et al. 2011). En este contexto, el presente proyecto pretende generar información ecológica sobre *Bryophyllum pinnatum* (Crasulaceae) una especie considerada de alto riesgo para México con el propósito de generar estrategias de prevención control y erradicación.

## Introducción

La invasión de comunidades naturales por especies exóticas representa una de las principales amenazas a la biodiversidad y es uno de los componentes del cambio ambiental global (Vitousek 1997; Millennium Ecosystem Assessment 2005; Aguirre-Muñoz et al. 2009). Los efectos negativos que generan las especies invasoras no se restringen a los ecosistemas naturales, sino también en la agricultura, salud animal y la economía, en los que se han registrado grandes pérdidas (Holm et al. 1997). En México hay registradas al menos 774 especies invasoras, de las cuales el 80% son plantas, distribuidas en 87 familias y 335 géneros (Aguirre-Muñoz et al. 2009). En el estado de Veracruz se ha documentado la presencia del 43% de las especies de plantas invasoras del país (Villaseñor y Espinoza-García 2004). Entre ellas destacan las plantas del género *Bryophyllum*, como *B. delagoensis* y *B. daigremontiana*, las cuales son consideradas altamente nocivas, debido a que desplazan a las especies nativas e inhiben el crecimiento y germinación de las semillas de otras especies (Groner 1975). Además se ha demostrado que son nocivas para el ganado debido a su contenido de glicósidos de bufadienolido (Williams y Smith 1984; McKenzie 1987; Gobierno de Australia 2010). Las plantas de éste género han sido catalogadas como plantas nocivas en el Noxious Weed Act en Australia (Gobierno de Australia 2010).

*Bryophyllum pinnatum*, es una especie reconocida como exótica invasora a nivel global (Hanna-Jones y Playford 2002; Quazi Majaz et al. 2011; Rojas-Sandoval y Acevedo-Rodríguez 2013), es originaria de Madagascar y África septentrional, ha sido introducida en todos los continentes debido a sus propiedades medicinales, actualmente presenta una amplia distribución pantropical (Allorge-Boiteau 1996; Rojas-Sandoval y Acevedo-Rodríguez 2013). En México no se conoce el impacto de esta especie en sistemas naturales. Sin embargo, en Veracruz está ampliamente distribuida, abarca un ámbito altitudinal que va de los 20 a los 1400 msnm y se ha detectado en diversos ecosistemas, que incluyen selva baja caducifolia, selva alta perennifolia, selva mediana, bosque mesófilo de montaña, bosque de pino-encino así como plantaciones de café y en sitios perturbados (Sandoval y Martínez 1994). Pese a encontrarse en muchos ambientes dentro de la región central del estado de Veracruz, el potencial invasor de *B. pinnatum* podría estar confinado a la selva baja caducifolia que crece en mal país, en la cual la apertura del dosel y en general la baja fertilidad del suelo propician condiciones muy favorables para su crecimiento (Allorge-Boiteau 1996; Hannan-Jones y Playford 2002).

El efecto negativo de la invasión de *B. pinnatum* puede ser muy grave en la selva baja caducifolia que crece en mal país de la planicie costera veracruzana, ya que este tipo de vegetación presenta una distribución restringida y alberga una gran cantidad de especies endémicas y en peligro de extinción (Castillo-Campos et al. 2007). Considerando la importancia biológica de la selva baja caducifolia y la amenaza que representa *B. pinnatum*, resulta prioritario elaborar un diagnóstico del estado de invasión de la selva baja caducifolia que crece en mal país y evaluar su impacto en la regeneración de las especies de plantas nativas. De igual forma es imperativo realizar estudios sobre la demografía y la ecología de *B. pinnatum* con miras a tener la información básica necesaria para evaluar potenciales mecanismos de control y erradicación.

### **Objetivo general**

Hacer un diagnóstico del estado de invasión por *B. pinnatum*, de la selva baja caducifolia que crece en mal país dentro de la RTP 104 y evaluar su impacto en la regeneración de las especies de plantas nativas.

### **Objetivos particulares**

1. Determinar la cobertura de *B. pinnatum* en la selva baja caducifolia que crece en mal país dentro de la RTP 104.
2. Describir las características reproductivas de *B. pinnatum* en la selva baja caducifolia que crece en mal país dentro de la RTP 104.
3. Cuantificar las tasas vitales (probabilidades de supervivencia, tasas de crecimiento y valores de reproducción) de los individuos de *B. pinnatum* en la selva baja caducifolia que crece en mal país dentro de la RTP 104.
4. Desarrollar modelos integrales de proyección para determinar la tasa de crecimiento poblacional ( $\lambda$ ) de *B. pinnatum*, y realizar análisis prospectivos (sensibilidad y elasticidad), a fin de identificar los estadios del ciclo de vida a los que el crecimiento poblacional es más susceptible.
5. Evaluar el impacto de *B. pinnatum* en el reclutamiento y regeneración de las plantas nativas de la selva baja caducifolia que crece en mal país dentro de la RTP 104.

6. Evaluar los posibles efectos alelopáticos de *B. pinnatum* sobre la germinación y crecimiento relativo de las especies de plantas nativas más importantes de la selva baja caducifolia que crece en mal país.
7. Emitir recomendaciones encaminadas al control y erradicación de *B. pinnatum* en la selva baja caducifolia que crece en mal país.
8. Entrega de 50 imágenes de *B. pinnatum* en diferentes estadios de desarrollo y sus impactos en la selva baja caducifolia que crece en mal país.
9. Material de difusión: elaboración de un tríptico que alerte a la población local sobre los riesgos que representa *B. pinnatum*. Un artículo de difusión en un medio masivo de comunicación.
10. Revisión y actualización de la información conforme a los campos contenidos en el apéndice del instructivo, y del análisis de riesgo de la especie (A.2.d) a partir de la ficha de *B. pinnatum* desarrollada por la CONABIO.

### **Área de estudio**

El área de estudio se encuentra en la cuenca media-alta del río Actopan, en el centro de Veracruz dentro del polígono con vértices 1) 19.715717 N y 96.933048 W, 2) 19.590296 N y -96.96812, 3) 19.555200 N y -96.405191 W y 4) 19.432099 N y -96.447925 W. Esta selva se encuentra en una zona cubierta por una corriente de lava volcánica o mal país y ocupa una superficie aproximada de 3976 ha que abarca parte de cuatro municipios: Xalapa, Actopan, Emiliano Zapata y Naolinco (Castillo-Campos et al. 2007). La zona pertenece a la Provincia Volcánica de las faldas bajas del Cofre de Perote y constituye un valle cubierto de basalto caótico y cenizas volcánicas con material piroclástico poco consolidado que data de aproximadamente 10000 años (Holoceno). Los suelos son someros y están formados básicamente por Litosoles (Rossignol y Geisset 1987). El clima es del tipo Aw<sub>1</sub> (W) que corresponde al cálido subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura y precipitación promedio anual de 22.3°C y 1, 053.5 mm, respectivamente. Presenta dos estaciones marcadas, la seca que va de octubre a mayo y la lluviosa de junio a septiembre (García 1988). El tipo de vegetación corresponde a selva baja caducifolia (Castillo-Campos et al. 2007).

## Métodos

### 1.- Georreferenciación y medición de cobertura de *B. pinnatum* en campo

Durante los meses de septiembre-noviembre (2015) y marzo-abril (2016) se realizaron recorridos en campo para determinar la cobertura, entendida como el porcentaje de área conocida cubierta por *B. pinnatum*, para lo cual se marcaron transectos de 1.5 km de largo (separados 50 m entre si), en la porción de selva baja caducifolia que crece en mal país. En cada uno de los transectos se registró la presencia/ausencia de *B. pinnatum* cada 25 m. La cobertura de *B. pinnatum* fue estimada visualmente como el porcentaje de área cubierta en un cuadro de 1 m<sup>2</sup>.

Para la parte de selva baja que no crece en mal país, realizamos un muestreo por vagabundeo (Mueller-Dombois y Ellenberg 1974; Ramírez-López et al. 2012), para registrar presencia de *B. pinnatum* por los principales caminos y brechas a lo largo del área donde se distribuye la selva baja caducifolia. Sobre estos caminos y brechas se georreferenció y registró presencia/ausencia de la especie cada 200 metros, la cobertura se estimó como el porcentaje de área cubierta en un área de 10 m<sup>2</sup>.

### 2.- Describir las características reproductivas de *B. pinnatum*

1.- Longevidad floral: en campo se marcaron 30 plantas sexualmente maduras, las cuales fueron monitoreadas diariamente a partir de las 7:00 h para determinar la apertura de la antera, la duración de la fase masculina, femenina y el cierre de la flor (Fig. 1).

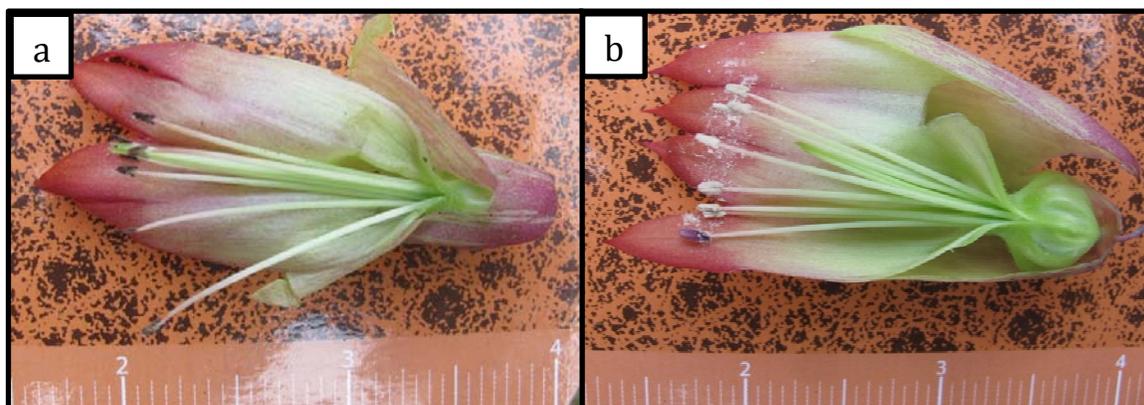


Figura 1. Flores de *B. pinnatum* en: a) fase femenina y b) fase masculina

2.-La relación polen/óvulo se estimó dividiendo el número promedio de granos de polen por flor/número promedio de óvulos por flor. Se colectaron anteras maduras antes de la dehiscencia y se depositaron en frascos viales con etanol al 70% de un total de 30 individuos. Posteriormente los

granos de polen se extrajeron de las anteras utilizando la técnica de acetólisis de acuerdo a Shivanna y Tandon (2014). Esta técnica nos permitió separar el polen de las anteras y tener muestras más limpias. Colocamos una antera de *B. pinnatum* en 3 ml de una mezcla de acético anhídrido acético y ácido sulfúrico (9:1), se calentó en baño maría por dos minutos y se dejó enfriar. Posteriormente se centrifugó por 5 min a 2000 rpm. Se removió el sobrenadante y se agregó 2 ml de ácido acético glacial y se volvió a centrifugar, se eliminó el sobrenadante y se agregó agua. Se tomaron tres muestras de 50  $\mu$ l de esa suspensión y se contó en número de granos de polen en el microscopio óptico (Nikon Eclipse E600). Los granos de polen fueron montados en glicerol al 10% (Fig. 2a). El número total de granos de polen se estimó multiplicando el número de granos de polen encontrados en una antera por el número de anteras por flor. El número de óvulos por flor se estimó contando todos los óvulos en una flor, en un total de 30 individuos. Esto se realizó haciendo cortes transversales del gineceo y observando al microscopio estereoscópico (Fig. 2b). La colecta de flores para esta sección se realizó en el mes de enero.

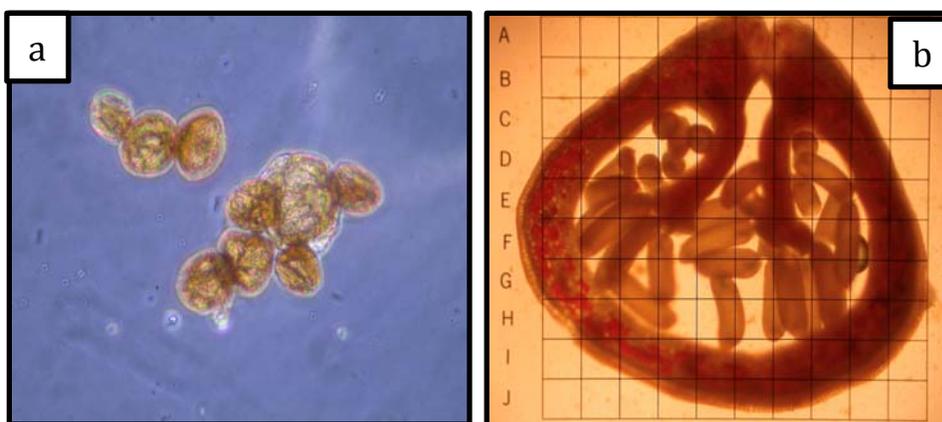


Figura 2. a) Polen y b) Óvulos de *B. pinnatum*

3.-Volumen y concentración del néctar. La producción de néctar se evaluó en un total de 175 flores en fase masculina, provenientes de diferentes individuos, las cuales fueron previamente embolsadas para evitar los visitantes florales. Se evaluó sólo en la fase masculina dado que existe evidencia en la literatura que las flores masculinas ofrecen mayor recompensa que la función femenina debido a que necesita asegurar el transporte de polen (Morales y Traveset 2009). En cada flor se extrajo el néctar utilizando un jeringa de insulina, la concentración de néctar se midió con un refractómetro análogo portátil (Zhifong). La medición se realizó del 26 al 29 de enero de 2016, cada día se midió el

volumen y concentración de néctar cada dos horas a partir de las 7:00 hasta las 16:00 h, de acuerdo a lo propuesto por Cruden y Herman (1983) (Fig. 3).



Figura 3. Extracción y medición del néctar de *B. pinnatum*.

4.-Receptividad del estigma, se determinó utilizando el método propuesto por McInnis y colaboradores (2006), que consiste en colocar una mezcla de guayacol con peróxido de hidrógeno al 3% sobre la superficie estigmática, si ésta se tiñe de un color rojizo es indicativo de que existe una reducción del peróxido mediante las enzimas peroxidasas que se producen en el estigma receptivo. Esto se realizó en 50 flores previamente embolsadas para evitar que fueran polinizadas (Fig. 4).

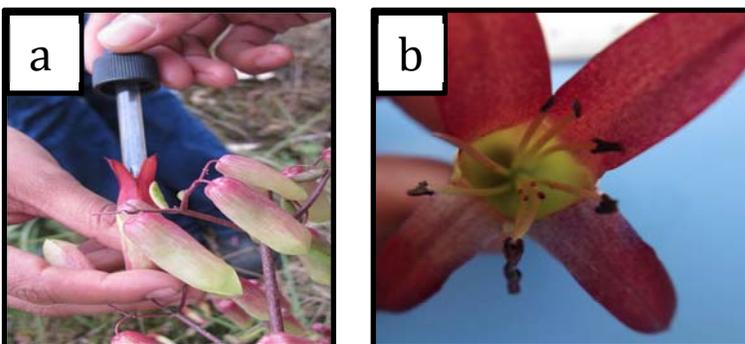


Figura 4. a) Metodología utilizada para poner guayacol en los estigmas de las flores de *B. pinnatum*, b) estigmas receptivos de *B. pinnatum*.

**3.- Cuantificación de las tasas vitales (probabilidades de supervivencia, tasa de crecimiento y valores de reproducción) de los individuos de *B. pinnatum* en la selva baja caducifolia que crece en mal país.**

Al inicio del estudio, se marcaron 132 individuos que se siguieron durante 9 censos a lo largo de 22 meses, para determinar sus tasas vitales. Los individuos de *B. pinnatum* se agruparon en cuatro

categorías de tamaño: 1) 12 -25 cm, 2) 25- 30 cm, 3) 40 -55cm y 4) > 60 cm de altura. Para cada uno de los individuos marcados, se también midió el número de hojas. Estas mediciones se hicieron cada dos meses, desde enero de 2015 hasta octubre de 2016. Se hizo una categorización de tamaños de los individuos al inicio del estudio, con el objetivo de determinar la variación en las tasas vitales entre grupos de diferentes tamaños, como se hace de manera tradicional para parametrizar modelos matriciales de dinámica poblacional. Se presentan los análisis de supervivencia y crecimiento obtenidos, haciendo la categorización de tamaños antes descrita.

Los datos también se analizaron sin considerar dichas categorías de tamaño. Es decir, cómo se relaciona la variación natural de tamaños, incluyendo todas las plantas medidas en el campo, con las tasas vitales: supervivencia, crecimiento y la fecundidad. Este es el primer paso para parametrizar los modelos de proyección integral (Integral Projection Models, IPMs), que son modelos de dinámica poblacional. Los IPMs, al considerar toda la variación natural de tamaños, son más realistas para modelar la dinámica poblacional de cualquier especie, pues no se hace una clasificación de tamaños subjetiva, sino que se utiliza para modelar las tasas vitales y finalmente, la dinámica poblacional de la especie en cuestión (Ellner y Rees 2006). Tanto en los análisis por categorías de tamaño, como en aquellos en los que se considera toda la variación de tamaños, medir y representar el esfuerzo reproductivo de las plantas es complejo e involucra la realización de experimentos tanto en el campo como en el invernadero o laboratorio. Además de contar el número de flores en todos los individuos marcados en el campo que las tuvieran, se contó el número de semillas por fruto, en una muestra de 30 frutos de diferentes individuos, a fin de estimar de manera indirecta el número de semillas producidas por cada individuo de *B. pinnatum* marcado en el campo, dependiendo de su tamaño. Otro componente importante que se determinó a través de experimentos en el laboratorio fue la tasa de germinación de las semillas. Se sembraron entre 200 y 500 de semillas y se cuantificó el número de semillas germinadas después de un mes. Finalmente, para determinar la reproducción asexual, se sembraron hojas y después de 12 semanas se cuantificó el número de plántulas generadas a partir de éstas. Este tipo de reproducción es sumamente relevante para la especie en términos demográficos (González de León et al. 2016). Las semillas y las hojas se pusieron en una cámara de crecimiento con una temperatura de día de 30° C y 20° C de noche con 16 horas luz y 8 de obscuridad por un periodo de uno y tres meses respectivamente. El experimento de germinación se repitió 4 veces (Fig. 5).

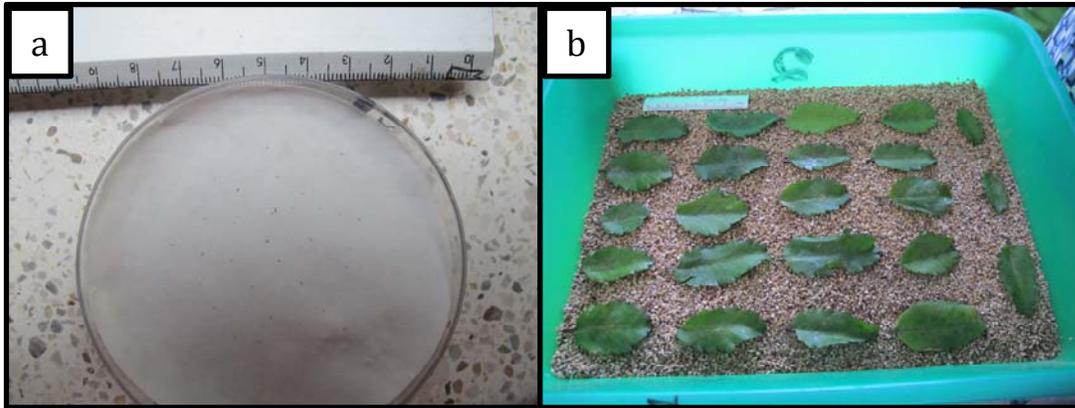


Figura 5. a) Siembra de semillas y b) hojas de *B. pinnatum*

**4.- Desarrollar modelos integrales de proyección para determinar la tasa de crecimiento poblacional ( $\lambda$ ) de *B. pinnatum*, y realizar análisis prospectivos (sensibilidad y elasticidad), a fin de identificar los estadios del ciclo de vida a los que el crecimiento poblacional es más susceptible.**

Los modelos integrales (IPMs) de dinámica poblacional determinan la relación que existe entre el tamaño y las diferentes tasas vitales (supervivencia, crecimiento y fecundidad), se modelan evaluando una ecuación integral que contiene dichas tasas vitales, sobre el rango de tamaños de los individuos que se miden en campo. A partir del modelo integral se construye un Kernel, que es una matriz en la que se evalúan los aspectos generales evaluados en un modelo matricial en demografía, esto es, la tasa asintótica de crecimiento poblacional y los análisis de sensibilidad y elasticidad que permiten determinar los aspectos del ciclo de vida que tienen mayor influencia sobre la tasa de crecimiento de las poblaciones.

El primer paso para el desarrollo de los modelos IPMs es obtener parámetros predictivos a partir de modelos estadísticos (regresiones lineales o con distribución binomial o poisson, por ejemplo). Estos parámetros predicen la probabilidad de que una planta de tamaño  $x$  sobreviva, alcance un tamaño  $y$ , y produzca  $z$  número de plántulas al siguiente año. Se realizaron los análisis correspondientes con los datos demográficos obtenidos en el campo (enero de 2015 a enero de 2016), y el conteo de propágulos vía vegetativa se realizó en diciembre-marzo (2017). El parámetro utilizado para desarrollar el modelo integral fue la altura de las plantas.

Los componentes que se modelaron estadísticamente para construir el Kernel, fueron la tasa de supervivencia (utilizando un modelo lineal generalizado, glm, con distribución binomial), el crecimiento individual de las plantas (utilizando un modelo lineal simple), el número de flores

(utilizando un modelo glm con distribución de poisson), la estimación del número de semillas a partir del número de flores (utilizando diversos modelos lineales simples) y la estimación de la producción de plántulas (utilizando la tasa de germinación) y su supervivencia (utilizando información de González de León et al. 2016). La reproducción asexual se modeló a partir de un experimento establecido en invernadero, en el que se plantaron hojas y se midió el número y tamaño de clones producidos a partir de las hojas. Se modeló el número de clones producidos por hoja (utilizando un modelo glm con distribución de poisson) y el tamaño de los clones producidos dependiendo del tamaño de los individuos de donde provenían esas hojas. Todos los modelos estadísticos y el modelo integral se desarrollaron en el programa R (2.7.0).

#### **5.- Evaluación del impacto de *B. pinnatum* en el reclutamiento y regeneración de las plantas nativas de la selva baja caducifolia que crece en mal país.**

Se realizaron censos bimensuales durante un año y nueve meses para registrar, el número de individuos, de especies, de muertes y los nuevos reclutamientos. Esto se realizó en parcelas experimentales previamente establecidas (1 m<sup>2</sup>) con cinco tratamientos: 1.-Parcelas donde se removió de manera manual *B. pinnatum*, 2.- Parcelas sin *B. pinnatum* y con malla sombra, 3.- Control (parcelas con *B. pinnatum*), 4.- Parcelas sin *B. pinnatum* y con exclusión de cabras y 5.- Parcelas con *B. pinnatum* y con exclusión de cabras. Este juego de parcelas está replicado 11 veces y en cada una de las parcelas se marcaron e identificaron todos los individuos de plantas nativas.

#### **6.-Evaluación de los posibles efectos alelopáticos de *B. pinnatum* sobre la germinación y crecimiento relativo de las especies de plantas nativas más importantes de la selva baja caducifolia que crece en mal país.**

En el sitio de estudio se colectaron frutos de al menos 20 árboles madre de cuatro especies (*Hamelia patens*, *Dodonaea viscosa*, *Lysiloma acapulcensis*, y *Psychotria erythrocarpa*), las semillas fueron limpiadas, secadas bajo sombra a temperatura ambiente y almacenadas para el experimento de germinación. La colecta de semillas se realizó durante los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero que corresponde a la temporada de fructificación de las especies de estudio (Fig. 6). Las especies se seleccionaron a partir del análisis de datos de las parcelas de exclusión descritas previamente y de censos de vegetación en sitios con y sin *B. pinnatum*. Las especies

seleccionadas cumplieron los siguientes criterios: 1) especies estructuralmente importantes y 2) que fueran afectadas negativamente por *B. pinnatum*.

*Psychotria erythrocarpa*



*Hamelia pattens*



*Dodonaea viscosa*



*Lysiloma acapulcensis*



Figura 6. Frutos y semillas de cuatro especies nativas de la selva baja caducifolia que crece en mal país.

Para evaluar el efecto de *B. pinnatum* en la germinación de cuatro especies nativas se realizaron cinco tratamientos con extractos de hojas de *B. pinnatum*, además de las especies nativas también se sembraron semillas de lechuga (*Lactuca sativa*) como tratamiento control. El extracto fue preparado a partir de 1.2 kg de hojas frescas de *B. pinnatum* molidas en una licuadora y filtradas con una malla de tul. Los extractos se diluyeron con agua destilada en las siguientes concentraciones 25, 50, 75, 100% y un control (agua destilada), con cinco replicas por tratamiento. Las semillas de todas las especies fueron sembradas en suelo colectado en el sitio de estudio (libre de la presencia *B. pinnatum*), previamente esterilizado en una autoclave a una temperatura constante de 100° C y 15 psi durante hora y media, por dos días consecutivos. En cada caja de petri se sembraron 50 semillas y cada tratamiento tuvo 5 replicas dando un total de 250 semillas por tratamiento por especie (Fig. 7a). Las semillas fueron regadas cada 5 días con 5 ml de los extractos (Fig. 7b). Una vez sembradas

y regadas con su respectivo tratamiento las semillas se mantuvieron en una cámara de germinación (en promedio  $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), con un fotoperiodo de 16 horas luz por 8 de oscuridad y una temperatura de 25 a 30° C (Fig. 7c). La germinación de las semillas se revisó diariamente del 13 de febrero al 25 de abril excepto para *P. erythrocarpa* debido a que es una especie de lento crecimiento y se dio seguimiento hasta el 2 de junio. Una semilla se consideró germinada al emerger la radícula.

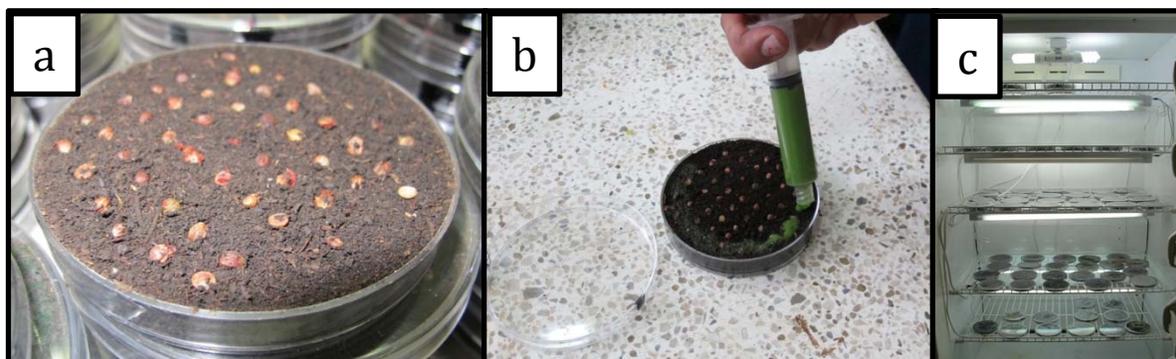


Figura 7. a) Siembra de semillas, b) aplicación de los extractos, c) tratamientos en la cámara de germinación.

Una vez que las semillas germinaron fueron trasplantadas, 20 semillas por especie por tratamiento, a macetas individuales en una mezcla de arena, agrolita y suelo estéril del sitio de estudio (25:25:50 volumen) en el laboratorio. Las semillas fueron regadas cada 5 días con 5 ml del extracto correspondiente. Cuando las hojas verdaderas emergieron se cosecharon cinco individuos por especie por tratamiento y se determinó la longitud de la raíz, la altura total del individuo, la biomasa de la raíz de tallos y hojas (Fig. 8). La biomasa se estimó cosechando el individuo, el cual fue secado en una estufa por 2 días a una temperatura de 60° C, después de lo cual fue pesado. Se realizaron tres cosechas en intervalos de 15 días.

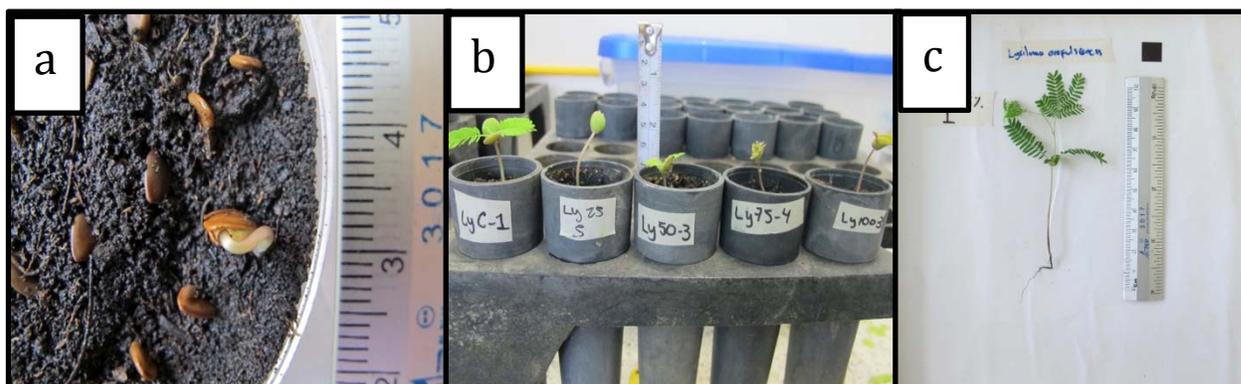


Figura 8.- a) Germinación, b) crecimiento y c) cosecha de *L. acapulcensis*

Considerando que otras especies del género *Bryophyllum* son alelopáticas y pueden modificar la calidad del suelo, se realizaron análisis físicos (textura) y químicos del suelo (nitrógeno, carbono, fósforo, pH, y materia orgánica). Se colectaron 10 muestras de suelo en sitios con *B. pinnatum* y 10 muestras en sitios sin invasión por *B. pinnatum*. Se hizo una muestra compuesta (250 gr de cada muestra). Para el análisis químico las muestras fueron tamizadas y secadas a temperatura ambiente y posteriormente enviadas al laboratorio de análisis de suelo del INECOL para los análisis correspondientes.

#### **7.- Emitir recomendaciones encaminadas al control y erradicación de *B. pinnatum* en la selva baja caducifolia que crece en mal país.**

A partir de la literatura revisada y los datos generados en este proyecto se enumeran algunas de las recomendaciones para la prevención y control de *B. pinnatum*.

#### **8.- Entrega de imágenes de *B. pinnatum* en diferentes estadios de desarrollo y sus impactos en la selva baja caducifolia que crece en mal país**

Se enviaron un total de 109 imágenes de *B. pinnatum* en archivos anexos durante la entrega de informes semestrales. Del total, 71 imágenes corresponden a diferentes estadios de desarrollo de *B. pinnatum* y de sus impactos en la selva baja caducifolia y 38 imágenes corresponden a los ejemplares de herbario colectados.

#### **9.- Material de difusión: elaboración de un tríptico que alerta a la población local sobre los riesgos que representa *B. pinnatum*. Un artículo de difusión en un medio masivo de comunicación.**

Se elaboró un tríptico informativo y un artículo de divulgación titulado “La bruja invade la selva” el cual se encuentra en revisión en la revista *Biodiversitas*.

#### **10.- Revisión y actualización de la información conforme a los campos contenidos en el apéndice del instructivo, y del análisis de riesgo de la especie (A.2.d) a partir de la ficha de *B. pinnatum* desarrollada por la CONABIO.**

A partir de la revisión bibliográfica y de nuestros resultados se revisó cuidadosamente el análisis de riesgo y los valores de incertidumbre requeridos y se revisó y actualizó la información de la ficha de *B. pinnatum* (Anexos 5 y 6 respectivamente).

## Resultados

### 1.- Georreferenciación y medición de cobertura de *B. pinnatum* en campo

La selva baja caducifolia que crece en mal país dentro del polígono con vértices 1) 19.715717 N y -96.933048 W, 2) 19.590296 N y -96.968123, 3) 19.555200 N y -96.405191 W y 4) 19.432099 N y -96.447925 W, se distribuye en 6 fragmentos (Fig. 9).

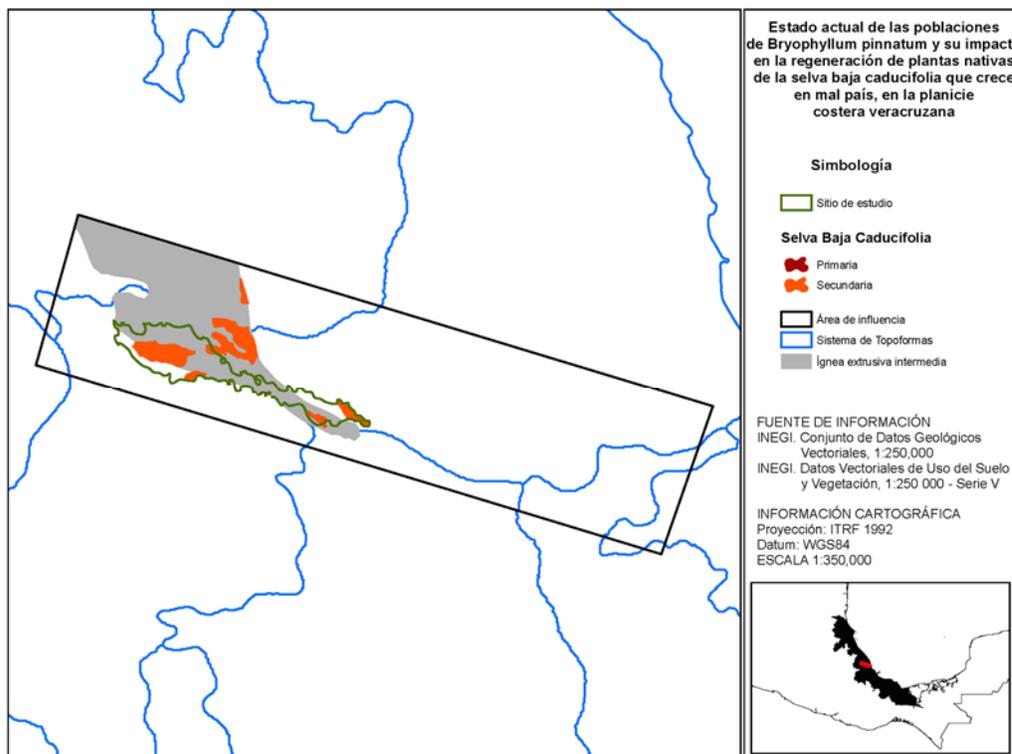


Figura 9.- Mapa de la distribución de la selva baja que crece en mal país en el centro de Veracruz.

En el fragmento de mayor tamaño se trazaron 53 transectos de 1.5 km (separados 50 m entre sí). En los otros fragmentos se trazaron 80 transectos (separados 50 m entre sí) de 200 a 800 m, dado que era la longitud máxima de los sitios. Se georreferenció la presencia/ausencia de *B. pinnatum* en un total de 3192 puntos, en el 19% de ellos (596 puntos) se registró la presencia de *B. pinnatum* y en el 70% de éstos la cobertura por 1m<sup>2</sup> fue mayor al 50%.

A través de recorridos sobre los principales caminos y brechas ubicados dentro del polígono de estudio registramos 738 puntos de los cuales sólo en 18 se registró la presencia de *B. pinnatum*. En total considerando los transectos y recorridos, se registraron 3930 puntos, de los cuales 614

(16%) tienen presencia de *B. pinnatum* y de éstos 479 (70%) presentan una cobertura de *B. pinnatum* mayor al 50% (Fig. 10).

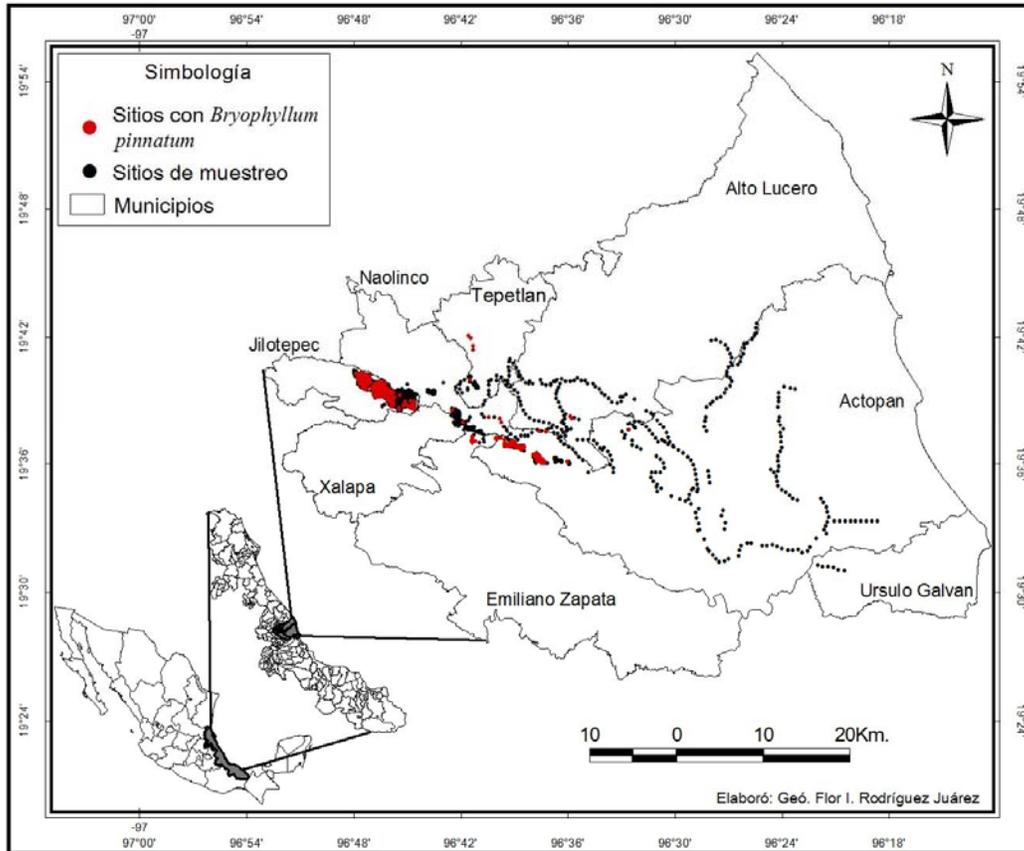


Figura 10. Mapa de los sitios de muestreo y sitios con presencia de *B. pinnatum* en el centro de Veracruz.

## 2.- Describir las características reproductivas de *B. pinnatum*

**1.-Número de flores y frutos.** En promedio un individuo de *B. pinnatum* produce 37.43 ( $\pm 2.6$ ) flores y 22.14 ( $\pm 1.5$ ) frutos. Cada fruto produce en promedio 1279.30 ( $\pm 57$ ) semillas.

**2.-Longevidad floral.** Las flores de *B. pinnatum* presentan separación temporal de las funciones sexuales masculina y femenina (protandria). Después de la apertura de la flor, las anteras tardan en promedio un día en abrir, éstas permanecen abiertas y con polen aproximadamente 3.8 días. Después de este tiempo el estigma se encuentra receptivo por 1.4 días y la flor se cierra. Cabe destacar que en algunas flores se observó un traslape de fases, es decir las anteras aún tenían

polen y el estigma ya estaba receptivo, sin embargo se desconoce si el polen aun era viable. Desde la apertura de la flor hasta que cierra transcurren 6.5 días en promedio.

**3.-Relación polen/óvulo.** En promedio una flor de *B. pinnatum* tiene 1885.5 óvulos y 210,296 granos de polen, con una relación polen/óvulo de 111.5.

**4.-Volumen y concentración de néctar.** En promedio las flores de *B. pinnatum* producen 0.037 ml de néctar al día con una concentración de 20.32° Brix. La concentración de néctar no varía a lo largo del día. En contraste el volumen sí, siendo mayor a partir de las 11:00 h. y con un deceso a las 16:00 h. (Fig. 11).

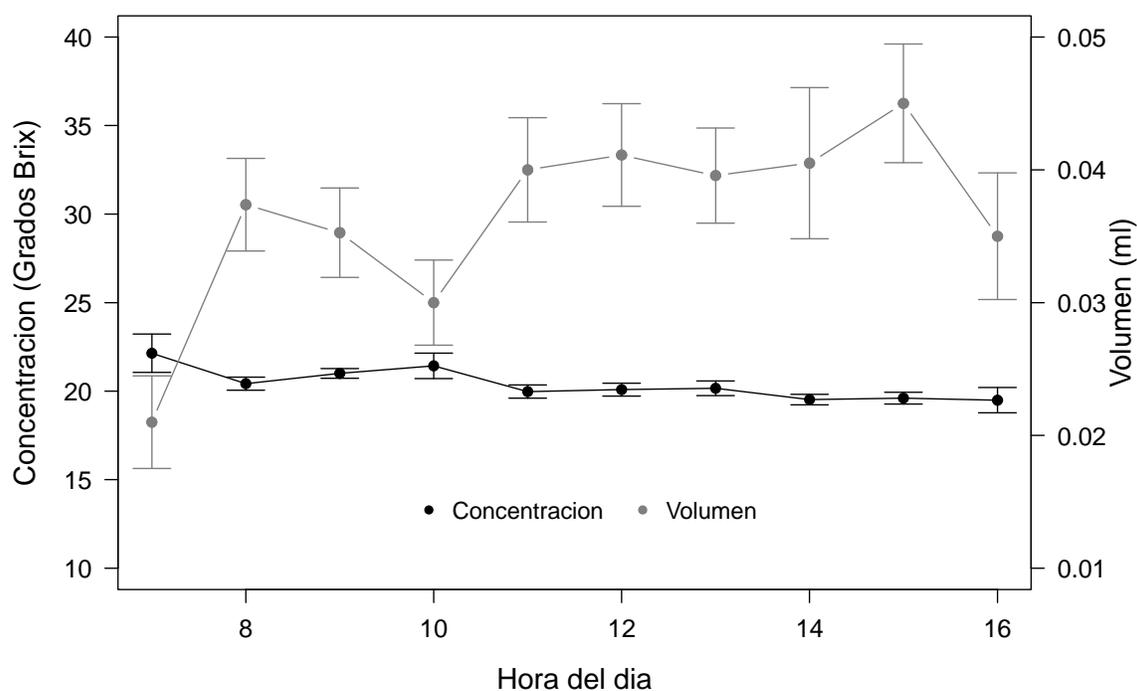


Figura 11. Relación del volumen y concentración de néctar de flores de *B. pinnatum* con la hora del día, en Actopan, Veracruz.

**5.-Receptividad del estigma.** En un total de 50 flores registramos que el estigma fuera receptivo a partir del primer día que la flor se encuentra en fase femenina y se repitió 50 veces. El 76% de ellas fue receptiva y solo el 24% no lo fue.

**3.- Cuantificar las tasas vitales (probabilidades de supervivencia, tasa de crecimiento y valores de reproducción) de los individuos de *B. pinnatum* en la selva baja caducifolia que crece en mal país.**

Los censos que realizamos a los individuos de *B. pinnatum* indican que de los 132 individuos marcados originalmente en enero de 2015, el 44.7% continuaban vivos en febrero de 2016, y sólo el 19% continuaban vivos en Octubre de 2016 (Fig. 12). La mayor caída en términos de supervivencia se dio entre el segundo y el tercer censo (abril-junio de 2015), y entre el octavo y noveno censo (agosto-octubre de 2016). Cabe resaltar que los individuos de las categorías más grandes (4 y 5) son los que presentaron las tasas de supervivencia más bajas, como lo indica la Figura 13.

En cuanto al crecimiento evaluamos el tamaño inicial de los individuos, medido en enero de 2015 y lo comparamos con el tamaño alcanzado hasta octubre de 2016. En general, en términos de altura los individuos durante ese periodo crecieron en promedio ( $\pm$  error estándar) 62.10 cm ( $\pm$  4.84), mientras que de febrero a octubre de 2016, sólo crecieron en promedio 0.25 cm ( $\pm$  6.3). Si se considera el crecimiento dependiendo de la categoría de tamaños de los individuos, observamos que en éste último periodo (febrero-octubre 2016) los individuos de la categoría 1 crecieron en promedio solo 0.13 cm ( $\pm$  7.01), los de la categoría 2 decrecieron 2.2 cm ( $\pm$  18.22), los de la categoría 3 decrecieron 10.67 cm ( $\pm$  11.65) y el único individuo aún vivo de la categoría 4 creció 47 cm. La figura 14 muestra el crecimiento relativo en altura (final-inicial/inicial) en cada categoría de tamaño en el último periodo evaluado y se observa que al hacer el cálculo en términos relativos, son los individuos de la categoría 4 los que más crecieron. En cuanto al crecimiento medido como número de hojas, la producción de hojas entre el primer y el sexto censo fue en general baja, aunque observamos mucha variación entre categorías de tamaño. Entre los censos 7 y 10 los individuos en general perdieron hojas. Al analizar el crecimiento relativo en número de hojas por categorías, vemos que los individuos de la categoría 4 son los que más produjeron hojas. La Figura 15 muestra el crecimiento relativo en número de hojas en cada categoría de tamaño entre los censos 7 y 10.

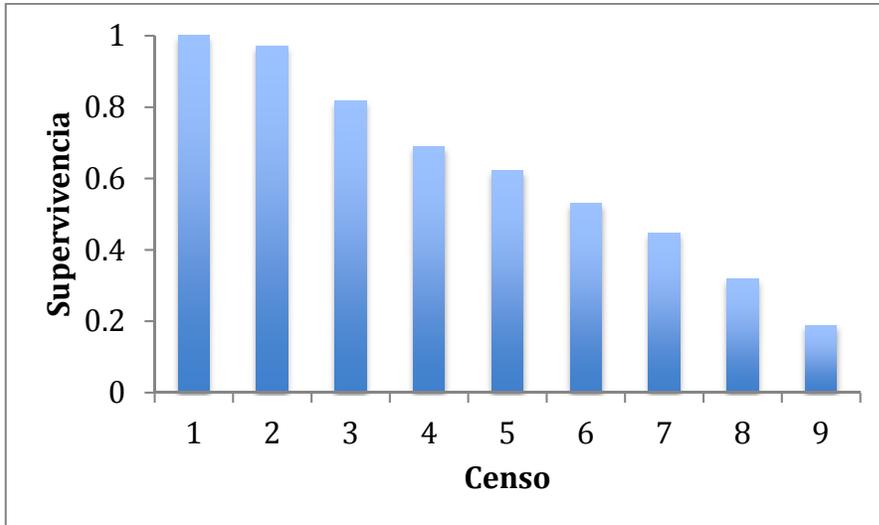


Figura 12. Supervivencia de los individuos de *Bryophyllum pinnatum* marcados inicialmente en enero de 2015, y censados bimestralmente hasta octubre de 2016.

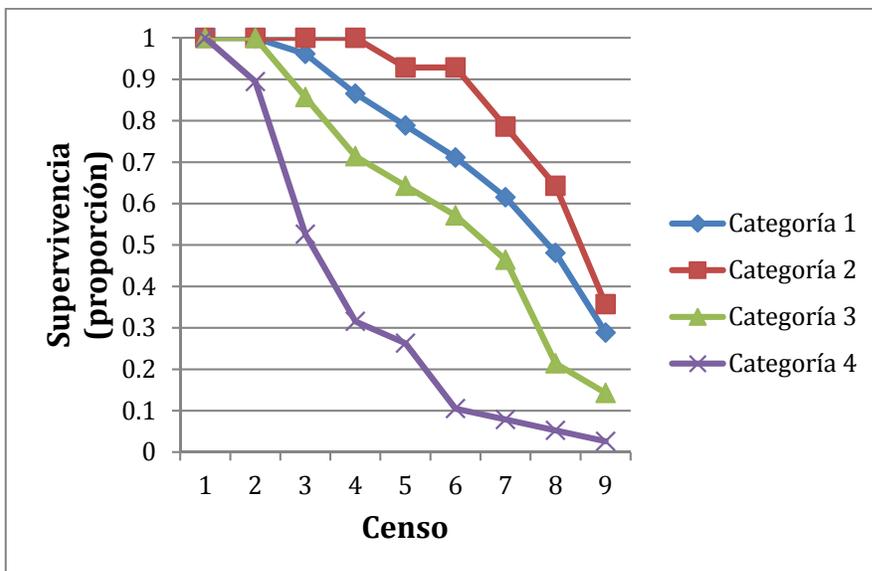


Figura 13. Supervivencia de las plantas de *Bryophyllum pinnatum* durante los 9 censos (enero 2015-octubre 2016) realizados en el centro de Veracruz, en cada una de las categorías de tamaño.

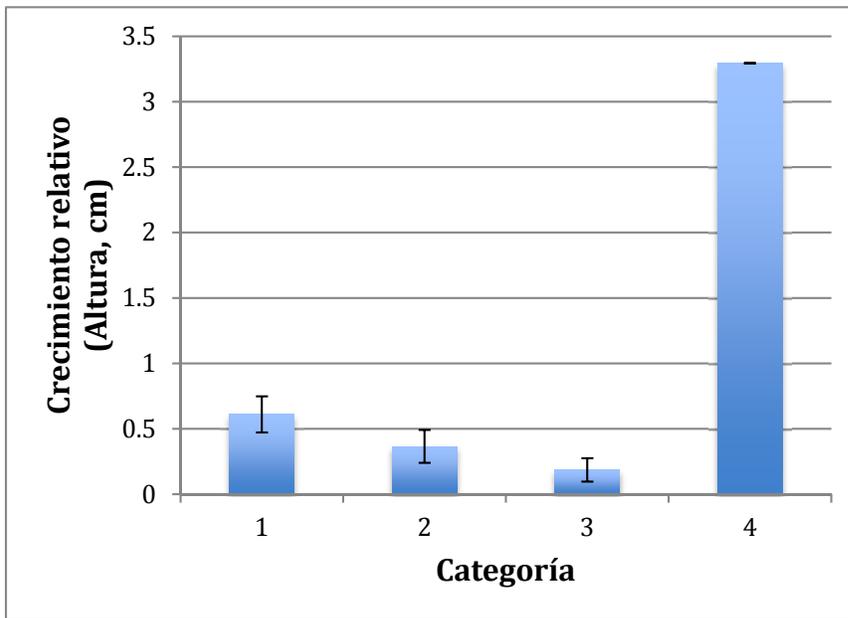


Figura 14. Promedio del crecimiento relativo (febrero a octubre de 2016) de *Bryophyllum pinnatum* en términos de altura, en plantas de diferentes categorías de tamaño.

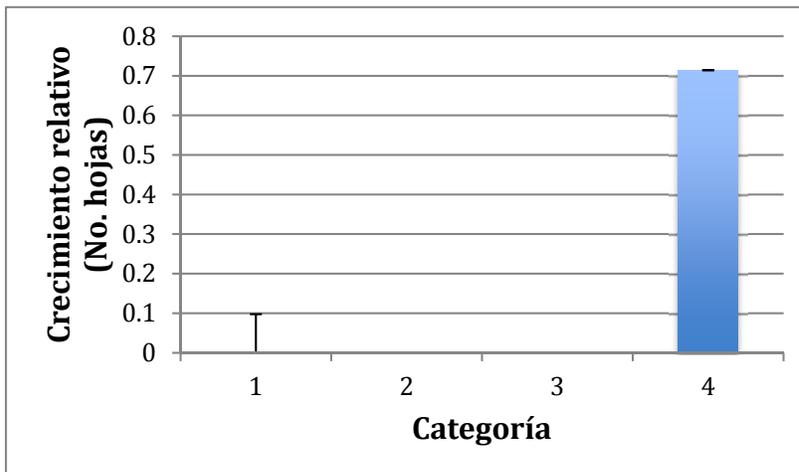


Figura 15. Promedio del crecimiento relativo (febrero-octubre 2016) de *Bryophyllum pinnatum* en términos de número de hojas, en plantas de diferentes categorías de tamaño.

En términos reproductivos, al inicio del estudio únicamente los individuos de las categorías 3 y 4 tenían inflorescencias, aunque el número de inflorescencias en los individuos de la categoría 4 fue 2.5 veces mayor (en promedio  $24.6 \pm 9$ ), que los individuos de la categoría 3 (en promedio  $9.8 \pm 2.6$ ). Conforme avanzaron los censos, los individuos de estas categorías fueron quedándose sin inflorescencias. Sin embargo, durante el último censo en febrero de 2016, muchas plantas que no

habían producido, ya tenían inflorescencias. Cabe resaltar que las plantas que pertenecían a categorías pequeñas al inicio del estudio se registraron con inflorescencias en el último censo, lo que indica que muchas plantas han alcanzado categorías más grandes. En promedio, las plantas que produjeron inflorescencias tuvieron  $22.02 \pm 11.49$  inflorescencias. En los censos subsecuentes, hasta este último (octubre 2016) observamos de nuevo que las inflorescencias poco a poco se fueron secando.

La tasa de germinación fue nula o muy baja en los experimentos establecidos. En dos de ellos se sembraron 200 y 300 semillas respectivamente, y después de un mes no germinó ninguna. Sin embargo, en otras dos rondas obtuvimos tasas de germinación de 0.01 (2/200 semillas) en un mes, y de 0.016 (3/500 semillas). En cuanto a la reproducción vegetativa, de las 240 hojas sembradas de *B. pinnatum* observamos una producción promedio de 1.76 plántulas ( $\pm 0.07$ ).

4.- Desarrollar modelos integrales de proyección para determinar la tasa de crecimiento poblacional ( $\lambda$ ) de *B. pinnatum*, y realizar análisis prospectivos (sensibilidad y elasticidad), a fin de identificar los estadios del ciclo de vida a los que el crecimiento poblacional es más susceptible.

A continuación se presentan los diferentes componentes que conforman el modelo integral de proyección desarrollado. Para *B. pinnatum*, la probabilidad de sobrevivir de un año a otro está relacionada de manera significativa con el tamaño. Mientras más pequeñas las plantas, mayor probabilidad tienen de sobrevivir al año siguiente, que las plantas más grandes (Fig. 16). Esto resulta coherente con lo que se conoce de la especie, pues una vez que los individuos producen flores mueren.

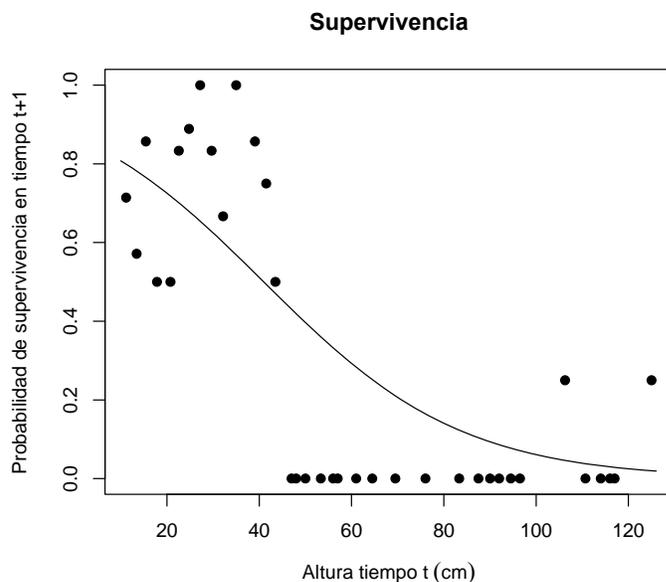


Figura 16. Relación entre el tamaño de *B. pinnatum* medido como la altura en tiempo t (enero 2015) y la probabilidad de supervivencia en el tiempo t+1 (diciembre 2015).

En cuanto al crecimiento, encontramos una relación positiva y significativa de el tamaño en el tiempo t y el tamaño en el tiempo t+1 (un año después) (Fig. 17).

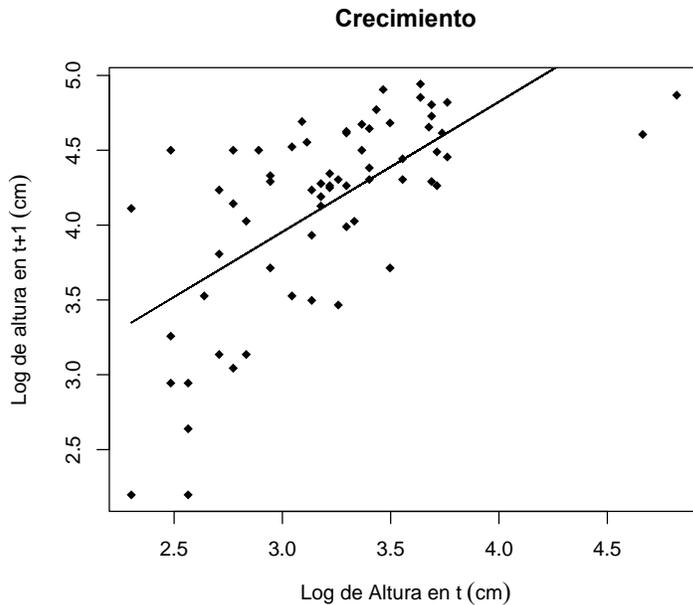


Figura 17. Relación entre el tamaño de *B. pinnatum* medido como el logaritmo natural de la altura en tiempo t (enero 2015) y el logaritmo natural de la altura en el tiempo t+1 (diciembre 2015).

En cuanto a la fecundidad, se generó un modelo logístico entre la altura en tiempo t, y el número de flores que tenían esas plantas (Fig. 18). El modelo fue significativo e indica que mientras en las plantas pequeñas la probabilidad de producir flores es muy pequeña, esta probabilidad incrementa conforme incrementa el tamaño de las plantas. Dado que seguir las flores hasta desarrollar frutos y luego cuantificar las semillas producidas es logísticamente muy complejo, hicimos una estimación del número de semillas de la siguiente forma. En el campo se colectaron 30 flores y de ellas se cuantificó el número de frutos y el número de semillas por flor. Obtuvimos una regresión lineal entre el número de flores y el número de semillas, y a partir de los parámetros obtenidos de esa regresión ( $1.681299 \times \text{Número de flores} + 1217.940284$ ), obtuvimos un modelo de regresión logístico que estima el número de semillas dependiendo de la altura de las plantas (Fig. 19). Esta es una forma habitual de realizar estimaciones sobre el esfuerzo reproductivo de las plantas para modelar de manera global la relación entre el tamaño y la contribución reproductiva, en este caso por vía sexual, que hacen las plantas según su tamaño.

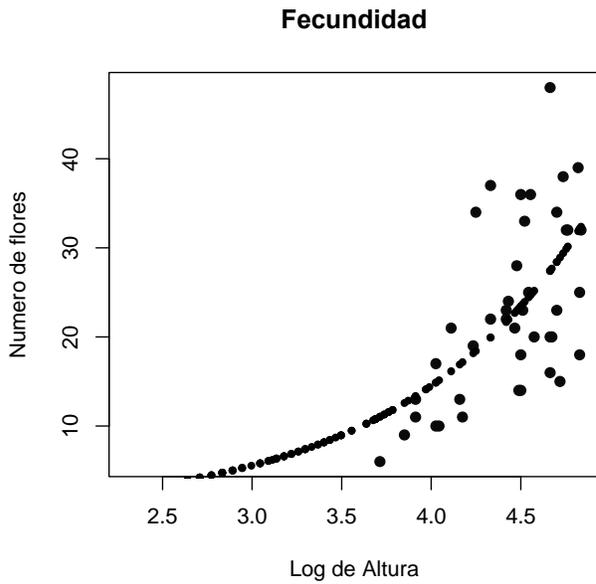


Figura 18. Relación entre el tamaño de los individuos de *B. pinnatum* (medido como el logaritmo de la altura) y el número de flores cuantificado en el campo.

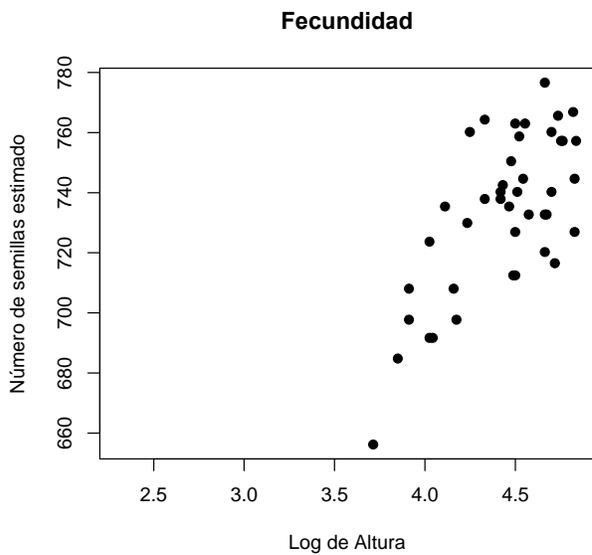


Figura 19. Predicción del número de semillas producido por individuos de *B. pinnatum* a partir del tamaño (medido como el logaritmo de la altura). La predicción se hizo a partir de cuantificaciones hechas del número de semillas producidas en flores colectadas en el campo.

Un reto importante de la biología de esta especie es que también se reproduce de manera asexual. Para parametrizar este componente, se estableció un experimento en invernadero para observar la producción de clones a partir de hojas. Se registró el tamaño de la planta de la que se colectaron dichas hojas, así como el tamaño de las hojas colectadas que después se plantaron para observar la producción de clones. Las hojas plantadas se siguieron durante 12 semanas y se registró la fecha de producción de clones, así como el número de clones por hoja, la altura y número de hojas producidas por clon. En la construcción del IPM, exploramos la relación entre el tamaño de las plantas “madre” y el número promedio de clones producidos a partir de estas hojas (Fig. 20a). Los datos indican que existe una relación significativa entre el tamaño y el número de clones, en particular las plantas de mayor tamaño producen más clones (Fig. 20b). También exploramos la relación entre el tamaño de las plantas “madre” y el tamaño de los clones producidos a partir de sus hojas. Encontramos una relación positiva entre estas variables, lo que indica que los clones producidos por plantas grandes también son relativamente más grandes. En términos del IPM, este componente es sumamente importante pues indica la contribución que hacen los individuos, a través de la reproducción asexual, en términos del número y tamaño de los individuos que se añaden a la población a través de esta vía.

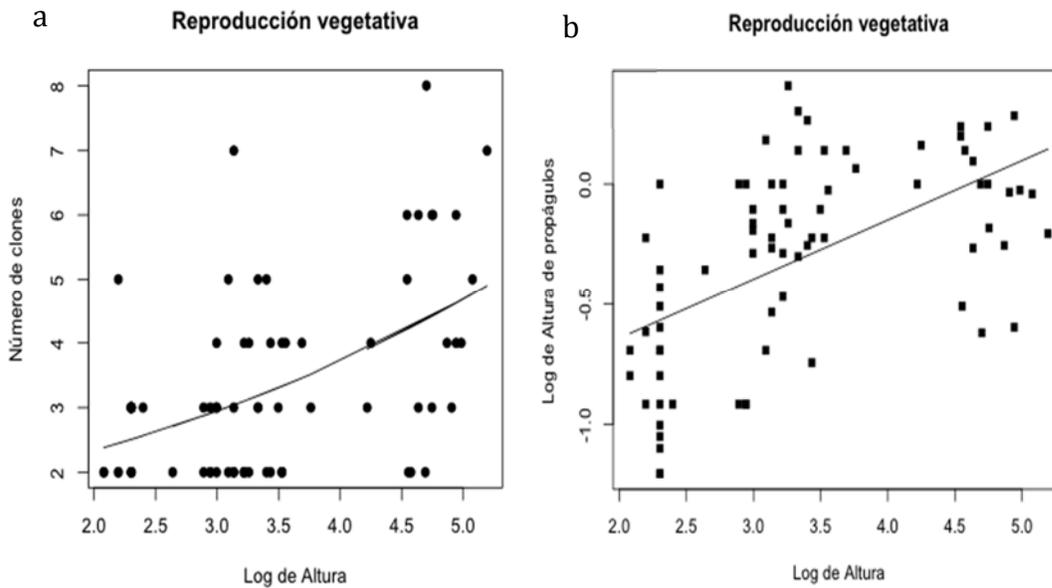


Figura 20. a) Relación entre el tamaño de los individuos de *B. pinnatum* (medido como el logaritmo de la altura) y el número promedio de clones producidos por dos hojas por vía asexual; b) Relación entre el tamaño de los individuos de *B. pinnatum* y el tamaño de los clones producidos a partir de sus hojas.

Con los parámetros obtenidos a partir de los modelos estadísticos, que describen la relación entre la variación de tamaños de los individuos y la supervivencia, el crecimiento, la producción de semillas y plántulas, y la producción de clones, se construyó un IPM. A partir del modelo obtuvimos una tasa asintótica de crecimiento poblacional,  $\lambda=1.88$ . Esto indica, como se espera que las poblaciones en una especie invasora están incrementando en tamaño de manera importante (88% anual). En la figura 21 se presenta el Kernel, así como las matrices de sensibilidad y elasticidad obtenidas.

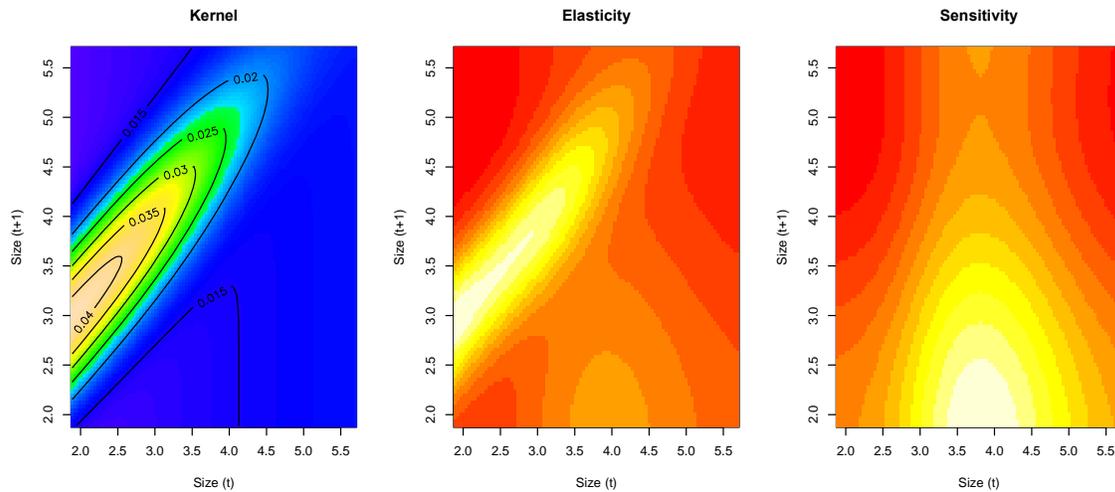


Figura 21. Kernel (primer panel) resultante del modelo integral de proyección (IPM) desarrollado para *B. pinnatum*, a partir de datos demográficos obtenidos en el mal país, en Veracruz. El rango de tamaños observado en el campo se dividió en 100 intervalos iguales y el parámetro utilizado como tamaño en tiempo  $t$  y tiempo  $t+1$  fue la altura. La altura de las plantas en el sitio de estudio es de entre 8-180 cm (2.07-5.19 en escala logarítmica). También se muestran los análisis prospectivos de sensibilidad (segundo panel) y elasticidad (tercer panel) del modelo a la tasa de crecimiento poblacional obtenida ( $\lambda=1.88$ ).

El análisis prospectivo de sensibilidad indica que las plantas de tamaño intermedio que producen clones presentan la mayor sensibilidad a la tasa de crecimiento poblacional obtenida. En menor grado, la supervivencia de estos individuos contribuye de manera importante al mantenimiento de dicha tasa de crecimiento poblacional. El análisis de elasticidad por otra parte indica que la tasa de crecimiento poblacional es muy sensible a la supervivencia y al crecimiento rápido de los individuos pequeños que se convierten en individuos de mediano tamaño.

En general, estos análisis indican que los individuos de talla intermedia, es decir individuos juveniles, que pudieron haberse originado por vía sexual o asexual, contribuyen de manera importante a la tasa de crecimiento poblacional que se estimó de las poblaciones de *B. pinnatum* en este sitio. Esta contribución está dada por su supervivencia y crecimiento para producir individuos relativamente más grandes (adultos), y por su capacidad de producir nuevos individuos por la vía vegetativa. A partir de estos análisis, se recomienda dirigir programas de control especialmente a los individuos que están en la etapa juvenil.

## 5.- Evaluación del impacto de *B. pinnatum* en el reclutamiento y regeneración de las plantas nativas de la selva baja caducifolia que crece en mal país.

Se analizaron 28 especies nativas de la selva baja caducifolia que crece en mal país. En general, el número de individuos aumenta considerablemente en el tratamiento sin *B. pinnatum*. Sin embargo, cuando separamos los resultados por especies encontramos que para el caso de *Peperomia obtusifolia* el patrón es inverso, es decir hubo una mayor cantidad de individuos en el tratamiento con *B. pinnatum*. Mientras que para *Abutilon umbellatum*, *Acalypha unibracteata*, *Cnidoscolus aconitifolius*, *Conyza canadiensis*, *Echites 2*, *Echites mexicanus*, *Eupatorium odoratum*, *Paulinia tomentosa*, *Triumfeta sp.* y *Tetrapterys discolor* el número de individuos aumentó en el tratamiento con sombra y sin *B. pinnatum*. Este patrón se ha mantenido a lo largo del tiempo para la mayoría de las especies (Fig. 22). Respecto a los tratamientos donde además de excluir a *B. pinnatum* se excluyeron a las cabras, se analizaron 23 especies, el 74% de las especies presentaron un mayor número de individuos cuando se excluye a *B. pinnatum* y el 22% de las especies registró el patrón inverso, y una especie no mostró diferencias entre tratamientos (Fig. 23). En promedio y considerando todas las especies, el número de individuos, de especies, la mortalidad y el reclutamiento de nuevas plántulas fue mayor en el tratamiento sin *B. pinnatum* seguido por el de sombra con *B. pinnatum* (Fig. 24).

En promedio y considerando todas las especies, el número de individuos y de especies fue considerablemente mayor en el tratamiento donde se removió *B. pinnatum*. Sin embargo, para el caso del reclutamiento y mortalidad de plantas nativas no hay diferencias entre tratamientos con y sin *B. pinnatum* al menos para los últimos censos. En general observamos un mayor reclutamiento y muerte en el año 2012 el cual ha ido disminuyendo a lo largo del tiempo (Fig. 25).

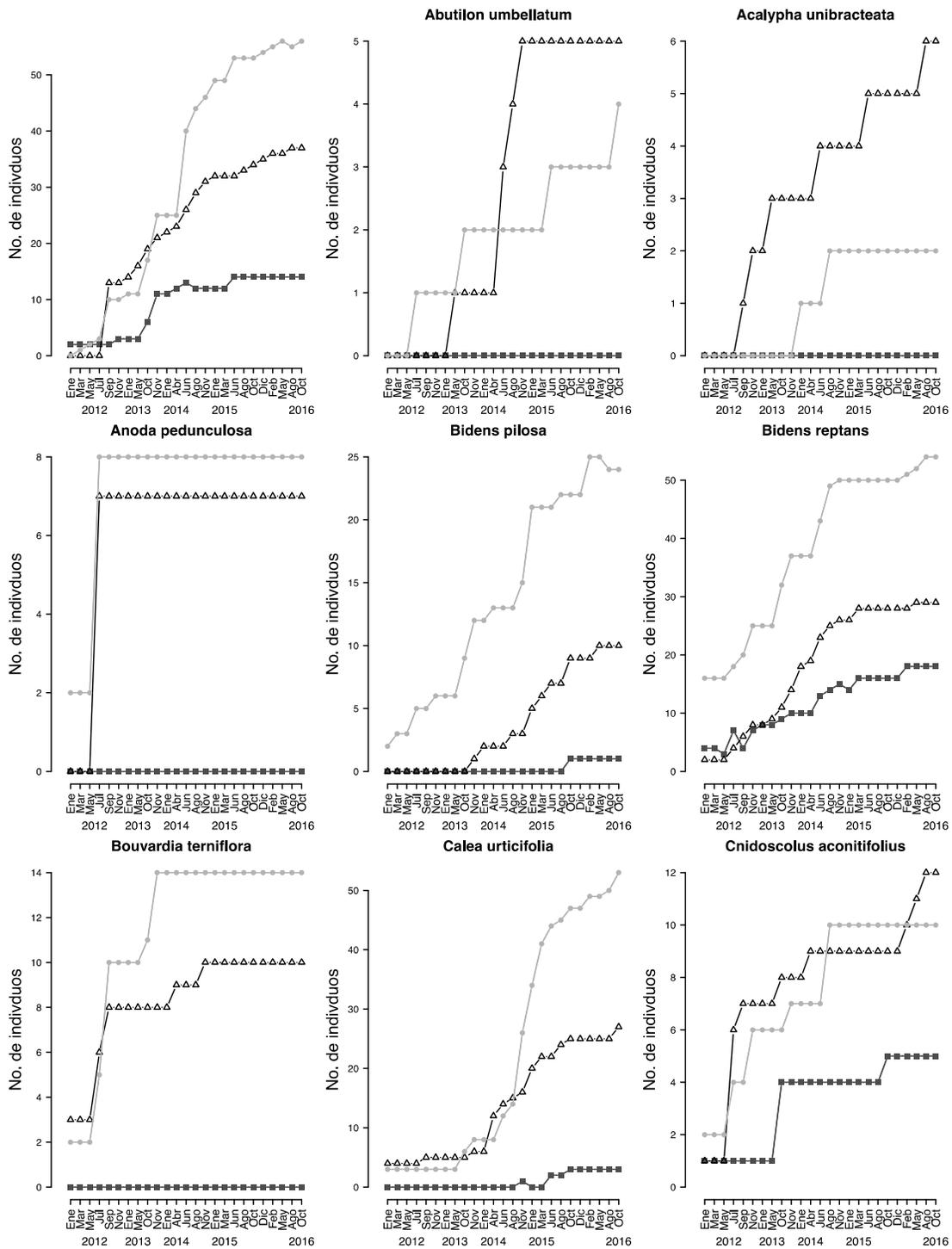


Figura 22.- Número de individuos de 28 especies nativas de las selva baja que crecen en mal país, Veracruz, en tres tratamientos: con *B. pinnatum*, sin *B. pinnatum* y sombra.

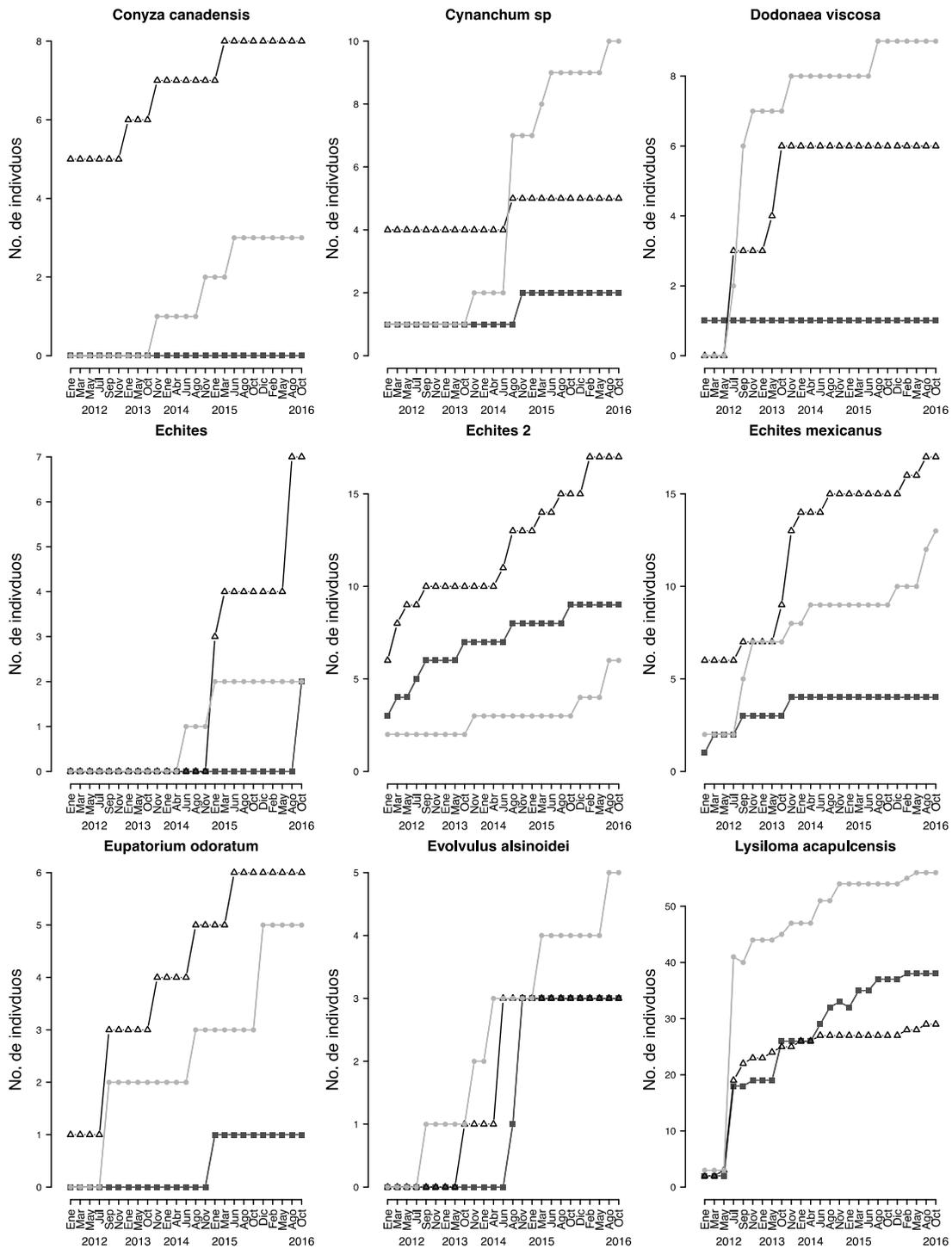


Figura 22.- Número de individuos de 28 especies nativas de las selva baja que crecen en mal país, Veracruz, en tres tratamientos: con *B. pinnatum*, sin *B. pinnatum* y sombra.

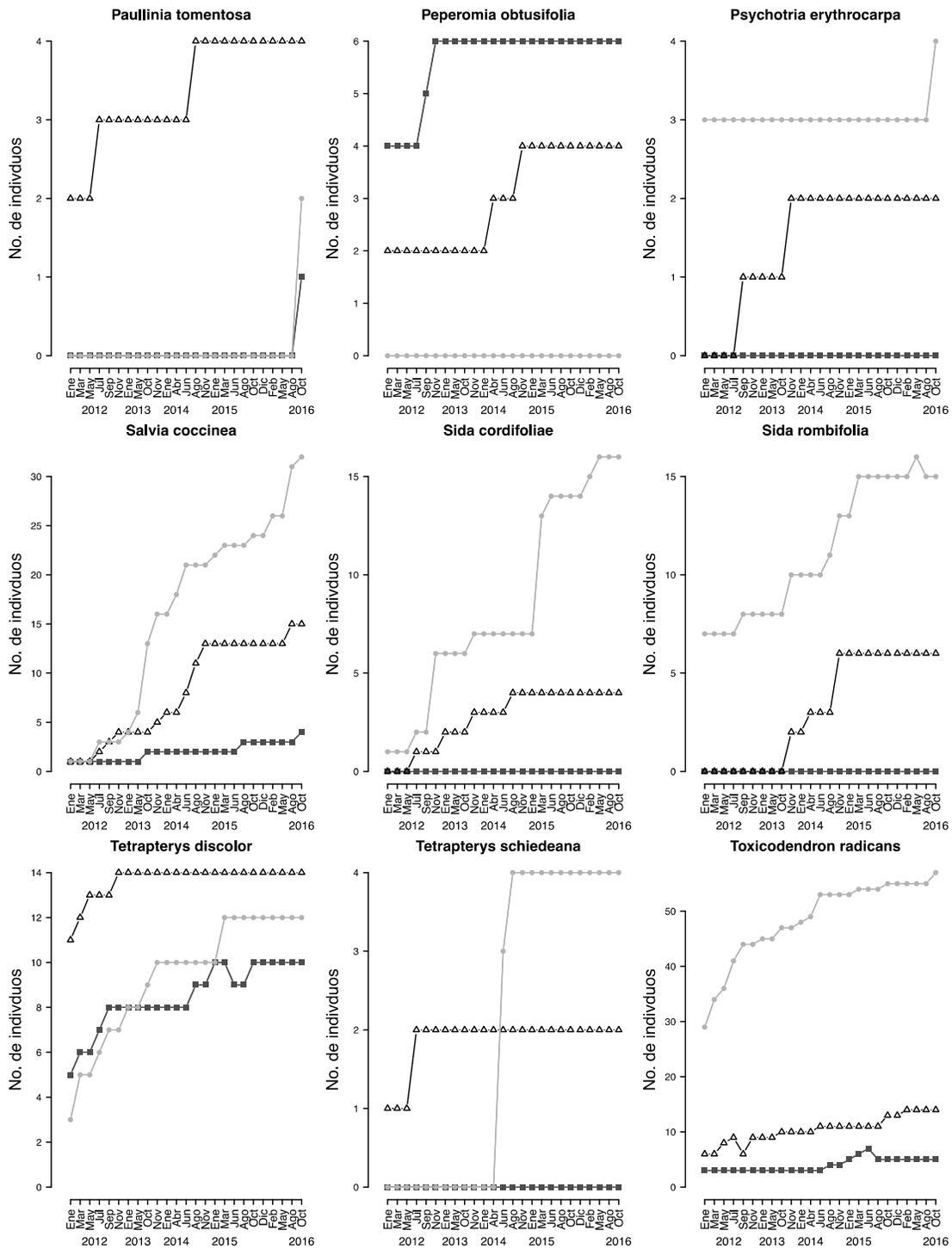


Figura 22.- Número de individuos de 28 especies nativas de las selva baja que crecen en mal país, Veracruz, en tres tratamientos: con *B. pinnatum*, sin *B. pinnatum* y sombra.

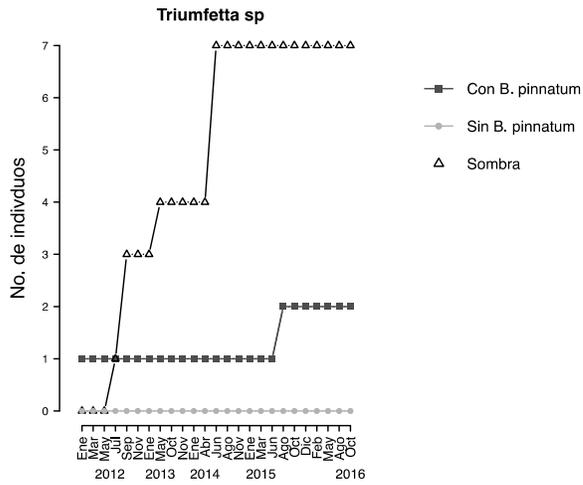


Figura 22.- Número de individuos de 28 especies nativas de las selva baja que crecen en mal país, Veracruz, en tres tratamientos: con *B. pinnatum*, sin *B. pinnatum* y sombra.

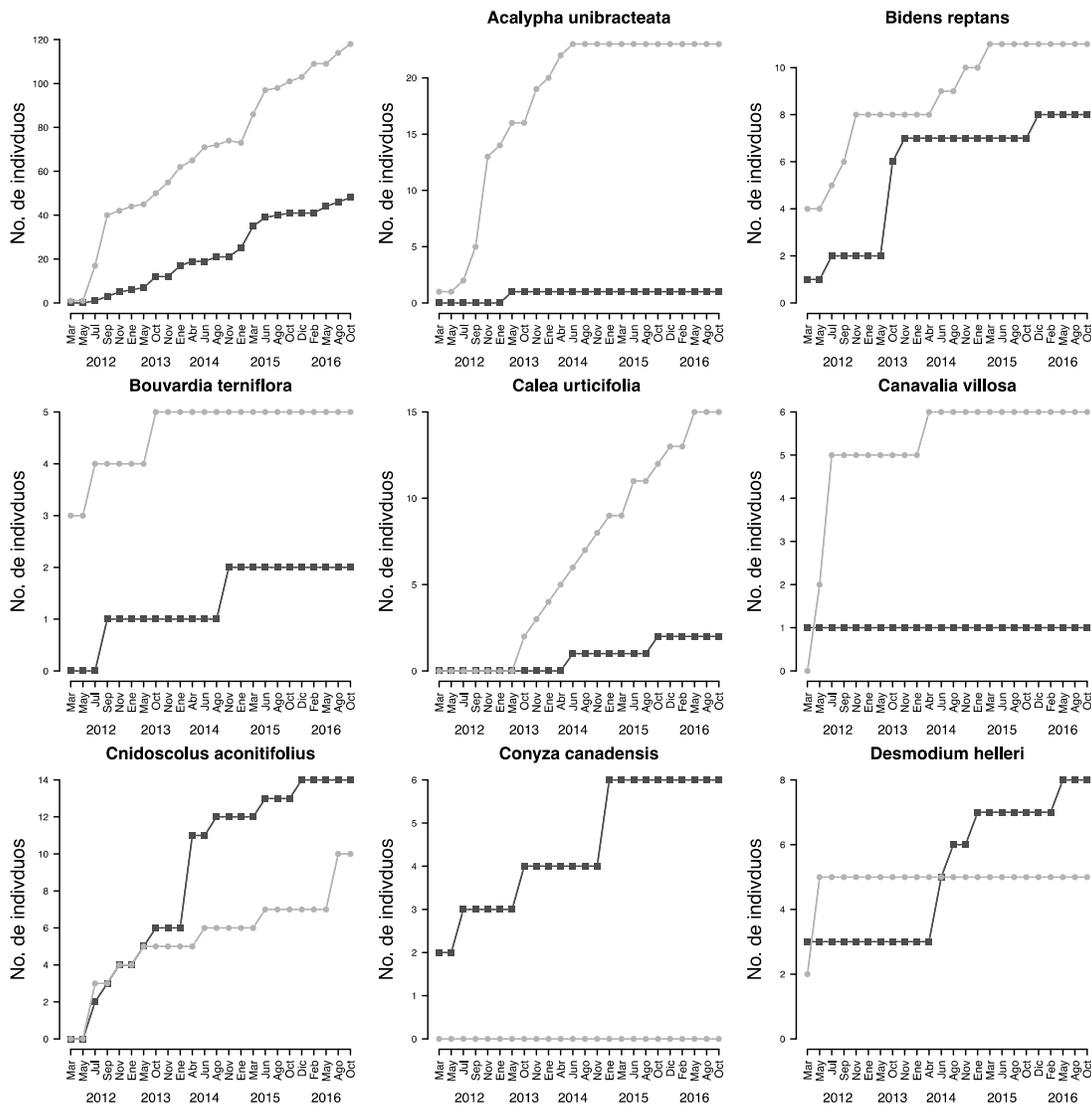


Figura 23.- Número de individuos de 23 especies nativas de la selva baja caducifolia que crece en mal país excluidas de cabras y con dos tratamientos: con *B. pinnatum* y sin *B. pinnatum*.

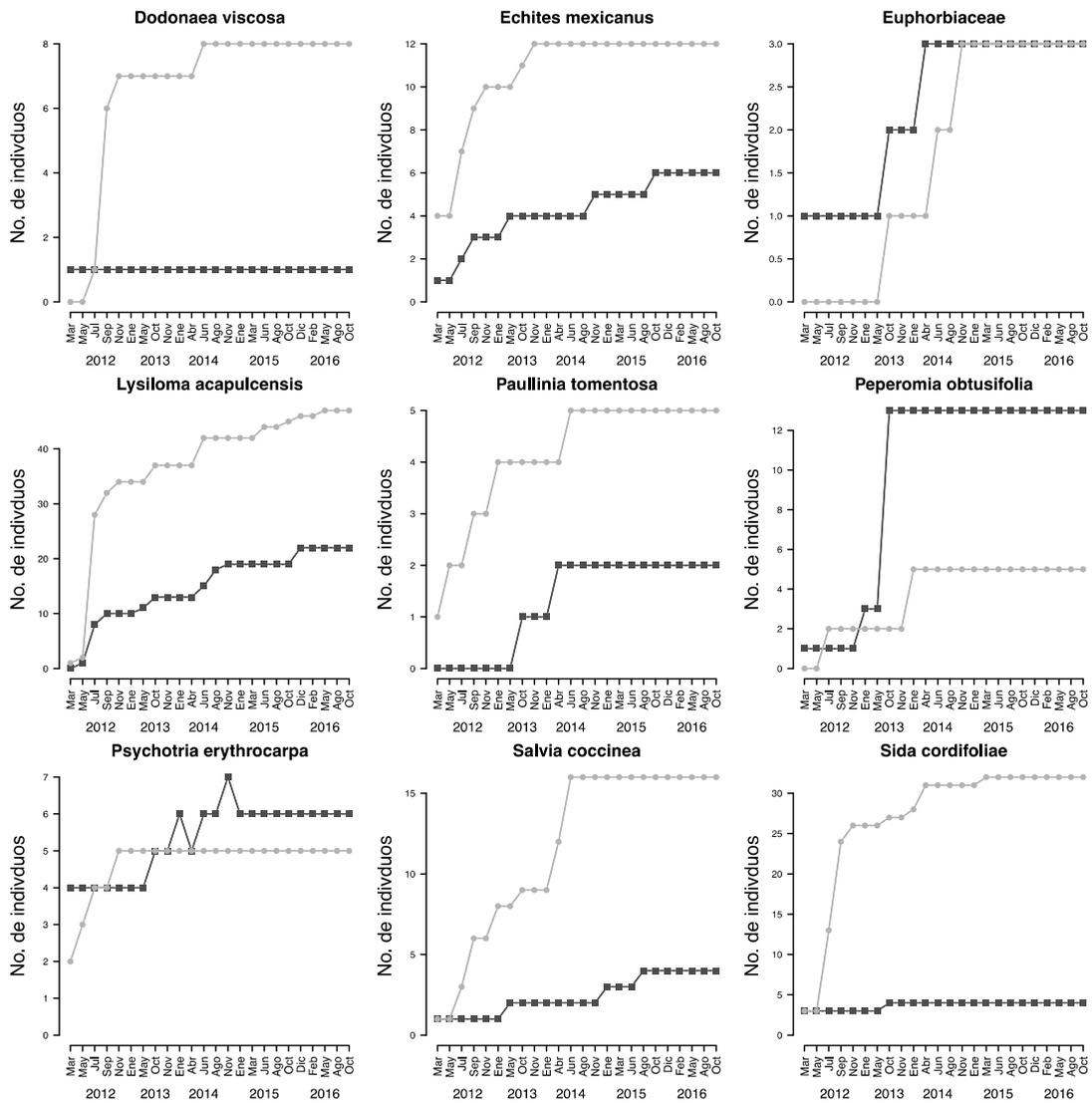


Figura 23.- Número de individuos de 23 especies nativas de la selva baja caducifolia que crece en mal país excluidas de cabras y con dos tratamientos: con *B. pinnatum* y sin *B. pinnatum*.

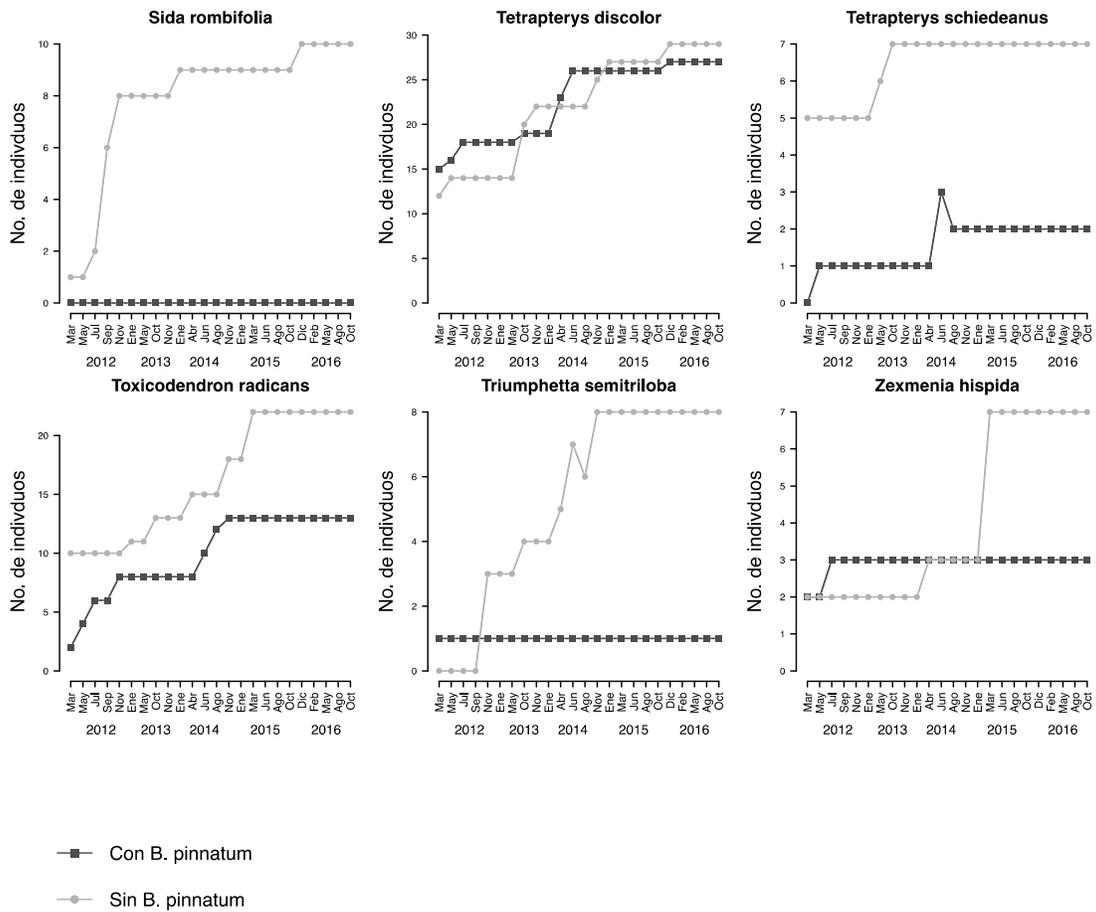


Figura 23.- Número de individuos de 23 especies nativas de la selva baja caducifolia que crece en mal país excluidas de cabras y con dos tratamientos: con *B. pinnatum* y sin *B. pinnatum*.

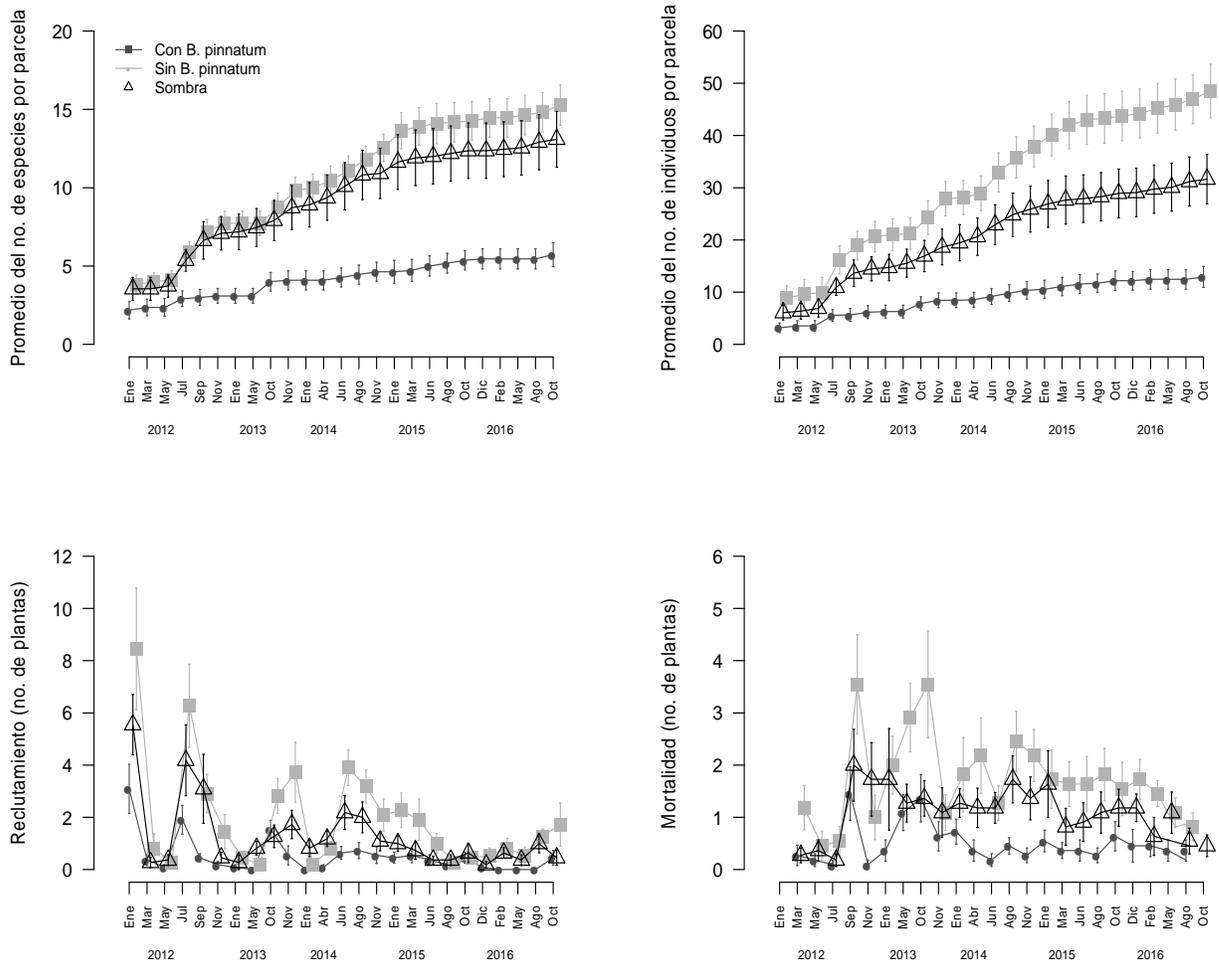


Figura 24. Número de especies, de individuos, mortalidad y reclutamiento de plantas nativas en parcelas con *B. pinnatum*, sin *B. pinnatum* y con sombra, en la selva baja que crece en mal país en Veracruz de 2012 a 2016.



## 6.- Evaluación de los posibles efectos alelopáticos de *Bryophyllum pinnatum* sobre la germinación y crecimiento relativo de las especies de plantas nativas más importantes de la selva baja caducifolia que crece en mal país.

En las cuatro especies se identificaron cambios en los porcentajes de germinación, tasas de germinación y tiempo de reposo, asociados a los cuatro tratamientos de los extractos acuosos de *B. pinnatum*. Sin embargo, éstos cambios no fueron similares entre especies y en pocos casos fueron significativos. En *Dodonaea viscosa* y *Hamelia patens* los porcentajes totales de germinación decrecieron en tratamientos mayores al 25% (Fig. 26). En *D. viscosa* el porcentaje más alto de germinación (18.4%) fue registrado en el tratamiento de 25% y solo fue significativamente más alto en comparación con el de 100% ( $F_{4,24}=3.47$ ,  $p \leq 0.05$ ). En el caso de *H. patens*, los porcentajes de germinación más altos fueron registrados en el control y en el tratamiento de 25% (79.6 y 69.6%, respectivamente; Fig. 26). Estos valores fueron tres veces más altos a los registrados en los tratamientos de 50 y 100%, aunque estas diferencias no fueron significativas. En el tratamiento de 75% se registró el porcentaje de germinación significativamente más bajo (5.2%), pero sólo fue distinto al compararlo con los tratamientos control y 25% ( $F_{4,24}=4.94$ ,  $p \leq 0.01$ ). En *Lysiloma acapulcensis* y *Lactuca sativa*, no hubo diferencias en los porcentajes de germinación entre el control y los tratamientos ( $F_{(4,24)}=09$ ,  $p > 0.05$ ;  $F_{(4,24)}=2.16$ ,  $p > 0.05$ ; respectivamente; Fig. 26). En *L. sativa* el valor de germinación más alto (87.0%) fue registrado en el control y en *L. acapulcensis* en el control y el tratamiento de 50% (62.4%). En *Psychotria erythrocarpa* se registraron los porcentajes germinación más bajos de todas las especies. Los tratamientos control y 75% (27.2 y 16.8%, respectivamente) tuvieron los valores más altos de germinación, los cuales fueron entre cinco y nueve veces más altos que los registrados en los demás tratamientos; sin embargo, no se registraron diferencias significativas entre tratamientos ( $F_{(4,20)}= 2.8$ ,  $p > 0.05$ ).

En las tasas de germinación, *H. patens* y *L. sativa* presentaron los valores más altos, en ambas se registraron disminución en las tasas de germinación en los tratamientos mayores al 25% (Fig. 27). En *H. patens*, el control y el tratamiento de 25% tuvieron la tasa de germinación más alta (9.6% $d^{-1}$ ); sin embargo, solo fue significativamente distinta a la de los tratamientos de 50-100% ( $F_{(4,16)}=10.15$ ,  $p \leq 0.0001$ ). El tratamiento de 25% tuvo la segunda tasa de germinación más alta (7.1 % $d^{-1}$ ), pero solo fue distinta en comparación con la del tratamiento de 75% ( $F_{(4,16)}=10.15$ ,  $p \leq 0.0001$ ). Para *L. acapulcensis* los tratamientos de 75 y 100% mostraron las tasas de germinación

más bajas, pero no hubo diferencias significativas con las de los otros tratamientos ( $F_{(4,21)}=1.26$ ,  $p > 0.05$ ; Fig. 27). De manera contraria, en *D. viscosa* las tasas de germinación se incrementaron en los tratamientos de 75 y 100%, aunque no se registraron diferencias significativas entre tratamientos ( $F_{(4,19)}=2.2$ ,  $p \leq 0.05$ ; Fig. 27). En *P. erythrocarpa* se registraron las tasas de germinación más bajas para todas las especies, la cuales fueron menores a la unidad en todos los casos y no hubo diferencias significativas entre tratamientos ( $F_{(4,16)}= 0.59$ ,  $p > 0.05$ ).

En el tiempo de reposo hubo una alta variación entre los tratamientos en las cuatro especies (Fig. 28), solo en *H. patens* hubo un incremento significativo en los tratamientos de 75 y 100% ( $F_{(4,15)}=10.15$ ,  $p \leq 0.0001$ ), los cuales fueron dos o tres veces más altos que los otros tratamientos. En el caso de *L. sativa* los tratamientos de 25 y 100% fueron entre 3 y 6 veces más altos que los otros tratamientos; sin embargo, no hubo diferencias significativas ( $F_{(4,24)}=1.42$ ,  $p > 0.05$ ; (Fig. 28). En *L. acapulcensis* y *D. viscosa* los tiempos de reposo más altos se registraron en 75 y 100%, respectivamente, aunque no fueron distintos con los otros tratamientos ( $F_{(4,24)}=1.93$ ,  $p > 0.05$ ;  $F_{(4,24)}=1.41$ ,  $p > 0.05$ ; respetivamente; Fig. 28). En el caso de *P. erythrocarpa* no hubo diferencias significativas entre tratamientos ( $F_{(1,9)}=1.08$ .  $p > 0.05$ ), los valores registrados en todos los tratamientos fueron los más altos registrados para todas las especies (Fig. 28).

De manera general, el crecimiento relativo de las especies fue bajo y no mostró una relación con los tratamientos. Solo en el caso de *L. acapulcensis* y *D. viscosa* hubo crecimiento en los tratamientos (Fig. 29); mientras que en las otras tres especies sólo hubo crecimiento en un tratamiento, registrándose una alta mortalidad en todos los tratamientos. En *L. acapulcensis* el crecimiento relativo en todos los tratamientos estuvo entre los valores de 0.035 a 0.041  $\text{mg g}^{-1}\text{d}^{-1}$ , sin que se registraran diferencias significativas entre tratamientos ( $F_{(4,20)}=0.31$ ,  $p > 0.05$ ). En *D. viscosa* se registró crecimiento en tres tratamientos (0-50%), la tasa de crecimiento más alta se registró en el tratamiento de 50%, aunque no difirió significativamente de los otros dos tratamientos ( $F_{(2,10)}= 2.64$ ,  $p > 0.05$ ). En *H. patens*, *L. sativa* y *P. erythrocarpa* solo se registró crecimiento en los tratamientos control, 25 y 75% respectivamente.

En las asignaciones de biomasa a las diferentes estructuras, en todas las especies las hojas tuvieron la mayor biomasa (Fig. 30). En *L. acapulcensis*, la biomasa de las hojas fue significativamente mayor que la de tallos y raíces, en todos los tratamientos ( $F_{(2,60)}= 62.73$ ,  $p < 0.0000$ ). Sin embargo, no hubo diferencias en la biomasa de estructuras entre tratamientos ( $F_{(8,60)}= 0.37$ ,  $p > 0.05$ ). De manera contraria, en *D. viscosa* las asignaciones a la biomasa cambiaron

significativamente entre tratamientos y estructuras ( $F_{(2,18)}=6.25$ ,  $p < 0.01$ ), en el tratamiento de 50% las asignaciones a hojas y raíces fueron mayores que los tratamientos control y 25%. En *H. patens*, *L. sativa* y *P. erythrocarpa* la biomasa de las hojas fue más altas que la de tallos y raíces, aunque solo fueron significativamente diferentes en la dos primeras especies ( $F_{(1,9)}=37.57$ ,  $p<0.001$ ;  $F_{(2,6)}=9.39$ ,  $p < 0.05$ ; respectivamente).

Los suelos invadidos con *B. pinnatum* presentaron mayor contenido de materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total y carbono total que los suelos sin *B. pinnatum*. La relación carbono/nitrógeno y el pH no difirieron entre sitios con y sin la planta invasora (Cuadro 1). En el análisis físico de los sitios, la textura del suelo de los sitios invadidos y no invadidos corresponde a un tipo de migajón arenoso.

Cuadro 1.- Análisis químicos del suelo en sitios con y sin invasión de *B. pinnatum* en Actopan, Veracruz.

	pH	Materia orgánica	Carbono orgánico	Nitrógeno total	Carbono total	C/N
<b>Clave</b>		%				
Con <i>B. pinnatum</i>	4.8	49.63	28.79	2.17	28.8	13.2
Sin <i>B. pinnatum</i>	4.9	18.45	10.70	0.96	12.5	13.0

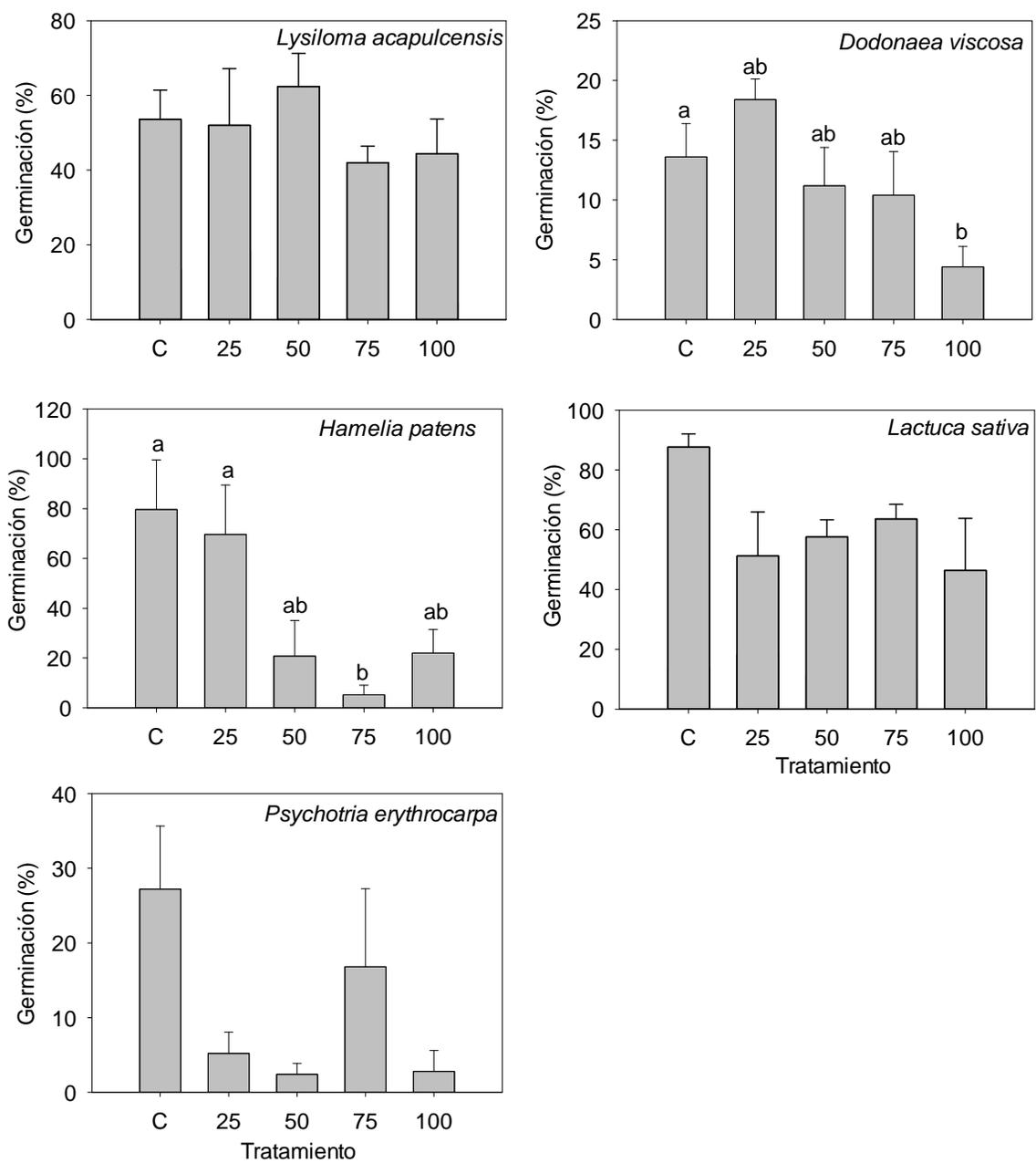


Figura 26. Porcentaje de germinación promedio (+EE) en los cinco tratamientos de los extractos acuosos de *Bryophyllum pinnatum* (C=control), para las cinco especies de estudio. Las letras sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos.

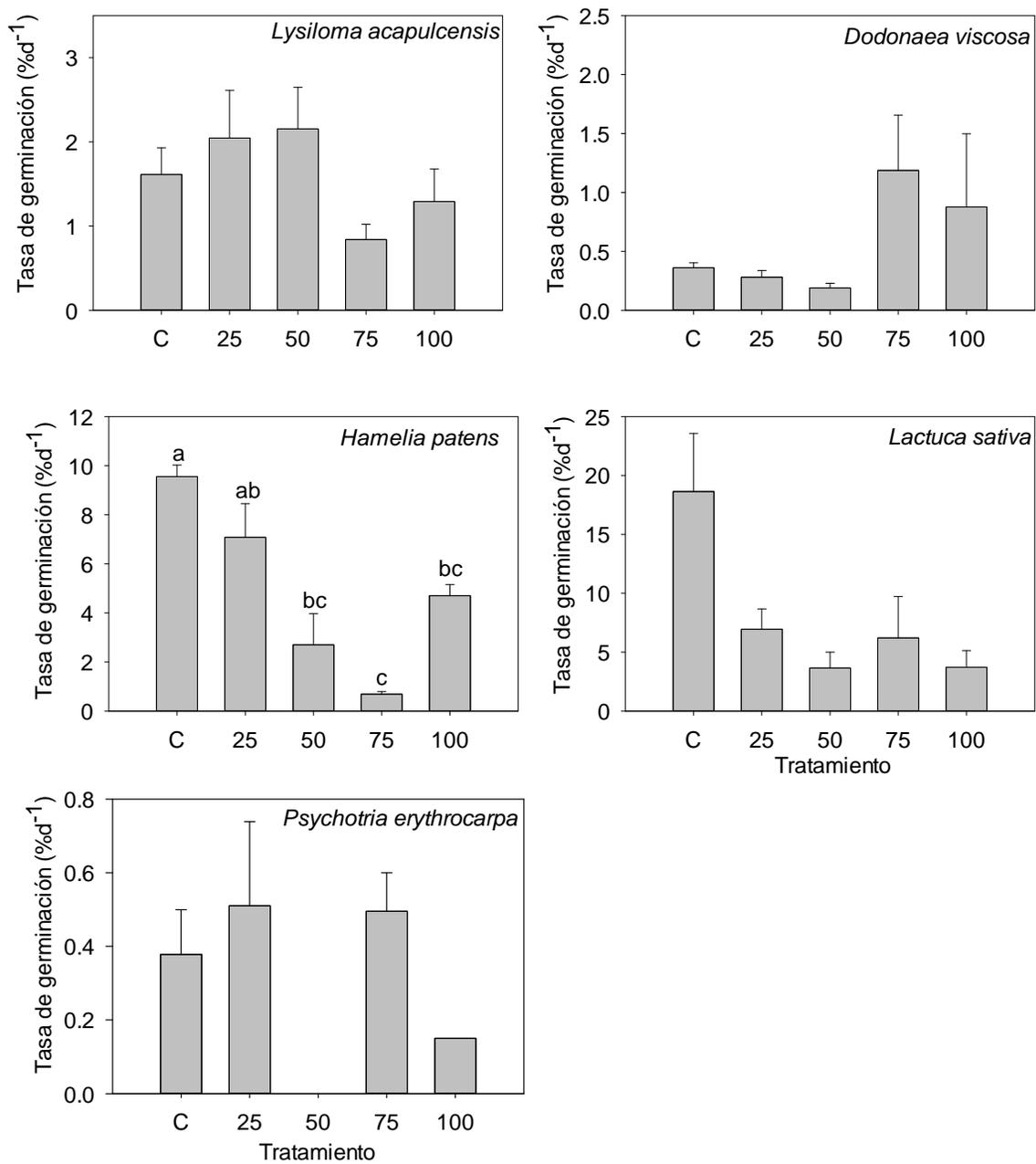


Figura 27. Tasa de germinación promedio (+EE) en los cinco tratamientos de los extractos acuosos de *Bryophyllum pinnatum* (C=control), para las cinco especies de estudio. Las letras sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos.

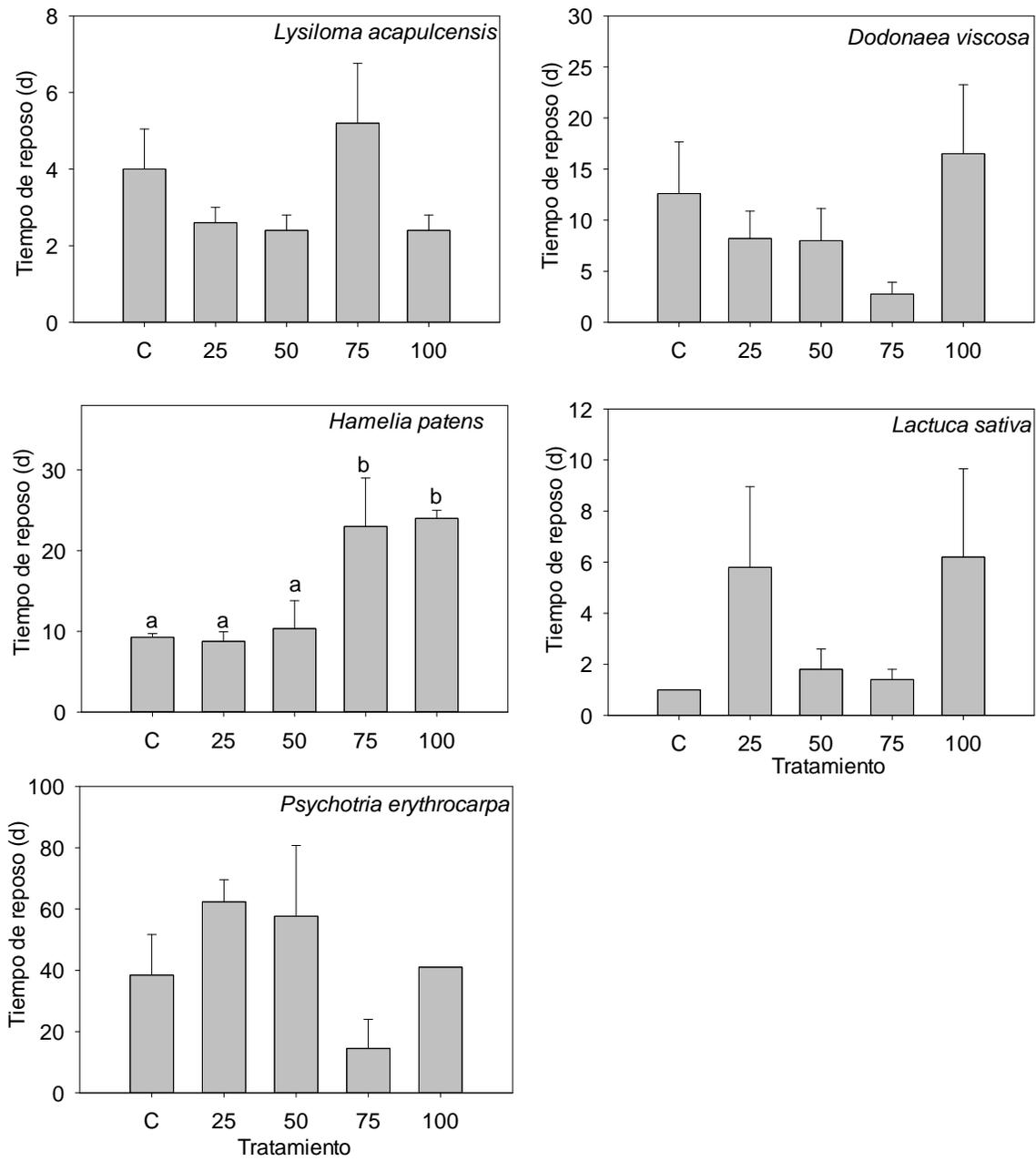


Figura 28. Tiempo de reposo promedio (+EE) en los cinco tratamientos de los extractos acuosos de *Bryophyllum pinnatum* (C=control), para las cinco especies de estudio. Las letras sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos.

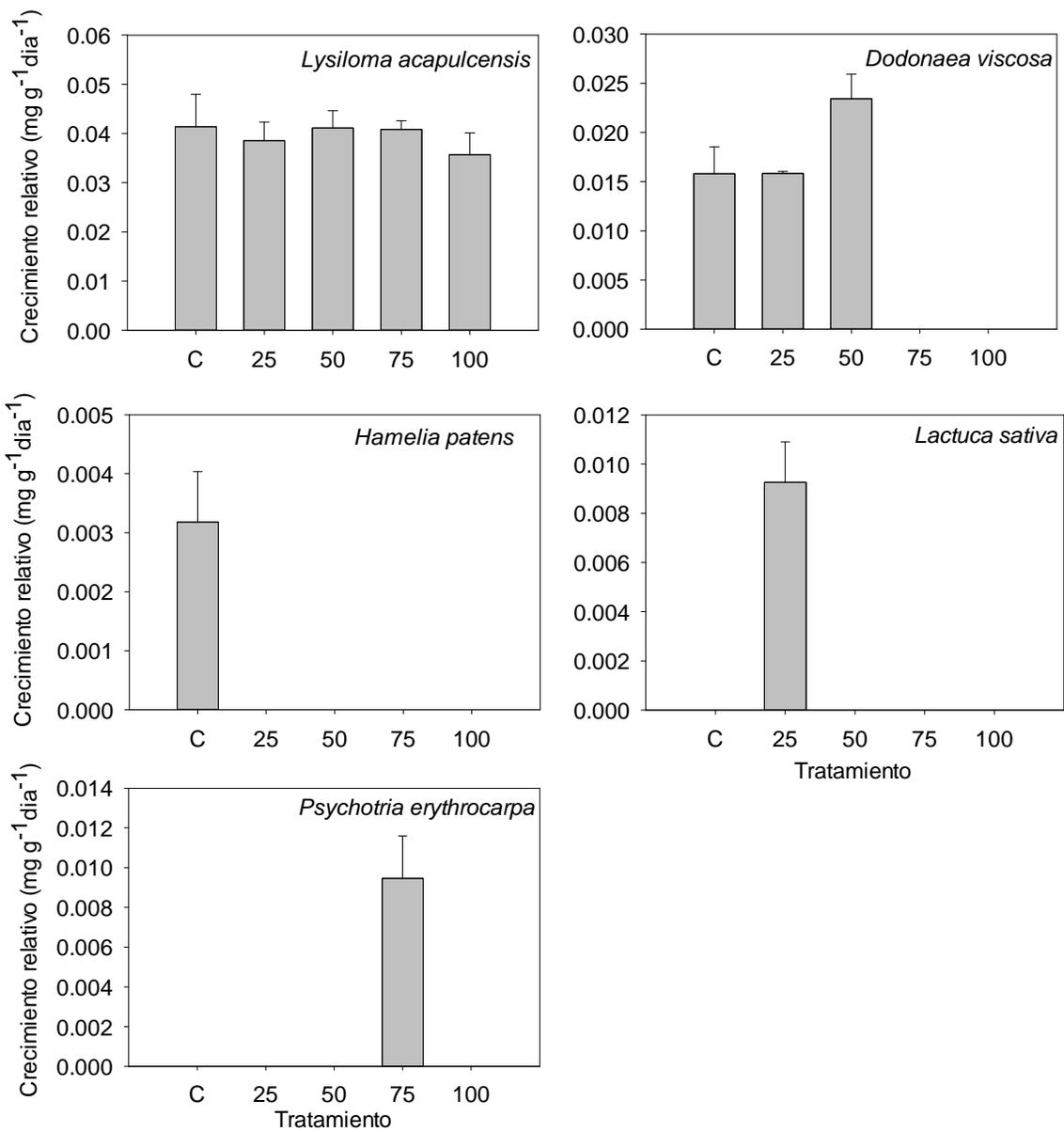


Figura 29. Crecimiento relativo (+EE) en los cinco tratamientos de los extractos acuosos de *Bryophyllum pinnatum* (C= control), para las cinco especies de estudio. Las letras sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos.

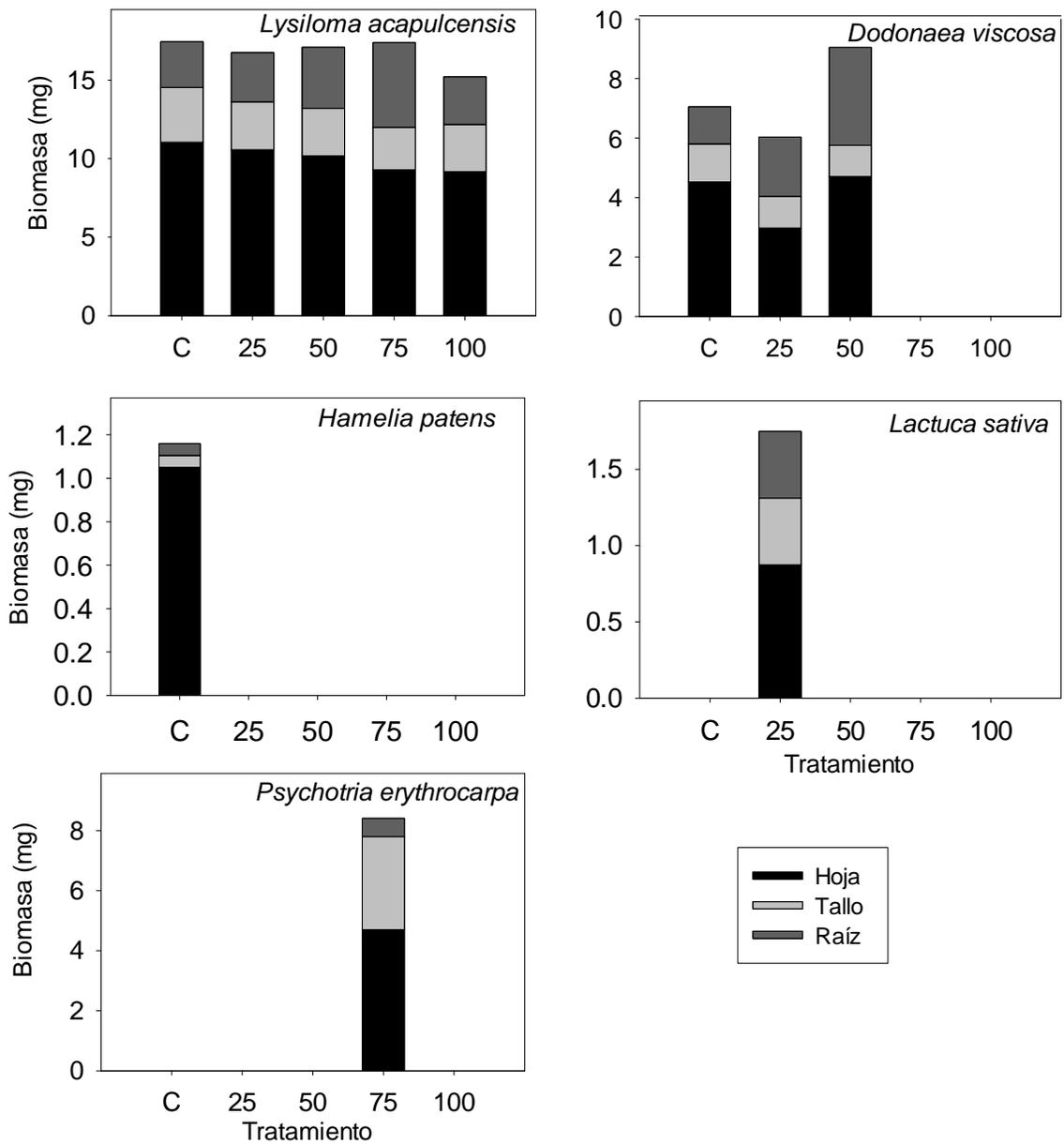


Figura 30. Asignación de biomasa a hojas, tallos y raíces promedio en los cinco tratamientos de los extractos acuosos de *Bryophyllum pinnatum* (C= control), para las cinco especies de estudio. Las letras sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamientos.

## **7.- Recomendaciones encaminadas al control y erradicación de *B. pinnatum* en la selva baja caducifolia que crece en mal país.**

*Bryophyllum pinnatum* es una especie exótica invasora con un alto éxito reproductivo, principalmente por vía vegetativa. Ésta característica, aunada a la baja incidencia de enemigos naturales como herbívoros o patógenos que controlen su crecimiento poblacional, le confieren un fuerte potencial de regeneración y expansión de sus poblaciones en ambientes idóneos como la selva baja que crece en mal país (Hannan-Jones y Playford 2002). Las siguientes recomendaciones tienen la finalidad de prevenir y contener su expansión y disminuir su dispersión a nuevas áreas. Estas recomendaciones se han agrupado en prevención y control.

### **Prevención**

#### **1. Divulgación y comunicación**

Actividades enfocadas a la difusión de la presencia y los efectos negativos de la especie invasora *B. pinnatum* en la zona. Para ello se recomiendan talleres informativos en localidades focales: Actopan, Ver. (cabecera), Jilotepec, Ver. (cabecera), Tenampa (Naolinco, Ver.), en las cuales se sugiere realizar:

- a) Taller de información con material didáctico impreso como volantes informativos para la población. En donde se dé a conocer la biología y ecología de la especie, dónde crece, qué tan abundante es, los efectos que puede causar en la selva baja y como podríamos ayudar a contener su expansión, entre otros.
- b) Desplegar carteles en lugares claves dentro de la población (centros de reunión y/o convivencia) con información que alerte sobre los efectos negativos de las especies invasoras con énfasis en *B. pinnatum*.
- c) Difundir el material: tríptico informativo desarrollado por el grupo de trabajo y aprobado por la CONABIO, para distribuirse en escuelas, cabeceras municipales y centros de salud.
- d) Material audiovisual: presentación con información de la especie y estudios de caso en otras partes del país para acercar a la población en el tema y profundizar información de interés, con esto se podría incentivar la participación de la población sobre qué se puede hacer en la comunidad para llevar a cabo actividades de prevención, control y contención de la invasión

por esta especie. La información sobre los costos aproximados de las actividades mencionadas se encuentran resumidas en el cuadro 2.

## 2. Monitoreo

Para las actividades relacionadas al monitoreo se sugiere involucrar a la población para participar en recorridos constantes en su localidad y cercanías para alertar la presencia de *B. pinnatum* en sitios donde antes no se había registrado. Dar prioridad de monitoreo en áreas cercanas o aledañas a ríos o arroyos para evitar que estructuras de la planta sean dispersadas a grandes distancias. En caso de registrarse en bajas densidades proceder a la eliminación manual (eliminar todos los estados de desarrollo de las plantas y quemarlas). El reconocimiento de esta especie por los habitantes de la región es amplia por lo que facilitaría la adopción de medidas de prevención de su dispersión. Incentivar a la participación conjunta es un reto, sin embargo puede ser una de las actividades de menor inversión.

Cuadro 2. Actividades de prevención de la invasión por *B. pinnatum* en la zona de estudio.

Actividad	Material/Movilidad	Cantidad	Costo \$
1. Taller informativo y de difusión de la presencia y efectos de la especie invasora <i>B. pinnatum</i> 2. Monitoreo integrado por pobladores interesados y escuelas .	Tríptico informativo	1000 impresiones	1699.00
	Volantes (media cuartilla)	2000 impresiones	1380.00
	Carteles informativos (1.5 x 2.0 m)	25 impresiones (por localidad en tres localidades)	15750
	Proyector multimedia	1	7000
Visitas a las localidades. Dos visitas de tres días en un mes. Seis días de trabajo en la comunidad	Viáticos	NA	25000
<b>Total</b>			<b>\$50,829.00</b>

### Control

En las áreas con mayor presencia de *B. pinnatum*, donde se ha registrado una incidencia de hasta 100% de cobertura por m<sup>2</sup>, podrían establecerse medidas de contención de la especie. Esto sólo puede llevarse a cabo involucrando a particulares (dueños de terrenos), que estén comprometidos con la conservación de los bienes y servicios ambientales de la selva baja caducifolia. Considerando lo anterior sugerimos las siguientes recomendaciones:

1. Limitar la expansión de *B. pinnatum*. Evitar el claro extensivo de terrenos ya que esto abre espacios potenciales para nuevos sitios de invasión, disminuir el chapeo en áreas invadidas cercanas a caminos, veredas, rodales o rutas de pastoreo, esta es una de las principales maneras en las que las hojas de *B. pinnatum* son dispersadas. Al ser una especie altamente competitiva y de rápido crecimiento, estas áreas son muy susceptibles a ser colonizadas por *B. pinnatum* formando parches densos y de difícil eliminación limitando la regeneración de especies nativas.
2. Evitar el uso de suelo de áreas invadidas por *B. pinnatum* para no propagar la biota asociada, dado que no existe información sobre la biota del suelo y su potencial efecto facilitador de

la invasión, sin embargo se conoce que esta especie podría alojar patógenos (áfidos), que pueden convertirse en plagas para cultivos (Singh et al. 1999) y transportarse en el suelo.

3. Evitar su propagación, no trasladar la planta completa ni estructuras por separado de la misma (en particular hojas y flores), no plantarla en traspatio, jardineras, huertos o evitar su uso como ornamental en escuelas, clínicas, etc.

4. Control mecánico y contención ecológica: una medida de control intuitiva, es la extracción manual de individuos, para la cual se estiman los costos en el Cuadro 3. Otra estrategia de control en parches de mas de 100 m<sup>2</sup> es limitar el crecimiento y expansión de la mancha invasiva a través de la competencia con una o varias especies nativas. En el sitio de estudio hemos detectado que en manchones donde se encuentra *Sedum* sp. la presencia de *B. pinnatum* es poco abundante, por ello esta especie podría probarse como una potencial barrera de contención para limitar el establecimiento de plántulas vegetativas de *B. pinnatum*. Otra especie con rasgos competitivos, es el pastos nativo *Setaria parviflora*. Fletcher y colaboradores (2015), plantean que los costos de una contención ecológica pueden ser mucho menores a los costos de una erradicación mal implementada.

5. Control con plástico: una cubierta física que impida la entrada de luz, agua y además eleve las temperaturas, puede eliminar una gran cantidad de individuos de *B. pinnatum*.

6. Control químico vía herbicidas comerciales: estudios previos en Australia mostraron que el herbicida comercial 2-4-D dietilamida es efectivo para controlar y erradicar *B. pinnatum* (Sparkes et al. 2002), en el Cuadro 3 se detallan los costos aproximados.

Finalmente, se recomienda mantener comunicación entre los diferentes sectores de la sociedad a fin de incentivar el flujo de la información. Muchas especies invasoras como *B. pinnatum*, se introducen y dispersan por actividades asociadas al humano, por lo que generar el conocimiento sobre la ecología, distribución y efectos directos e indirectos en el ecosistema es de gran importancia. La sociedad debe ser informada sobre este conocimiento para integrarse a las responsabilidades de prevención y control, y las autoridades correspondientes hacer esfuerzos para generar estrategias de erradicación, y en conjunto participar en la prevención y solución de este problema (Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras 2010). Considerando las abundancias y distribución de *B. pinnatum* en el sitio de estudio, recomendamos implementar estas estrategias en las siguientes localidades: San Martín, Las Cabras, Sicomoro y San Ignacio.

Cuadro3.- Descripción de los costos, viabilidad técnica, ventajas y desventajas de las estrategias de control propuestas.

Estrategia de control	Costos unitarios varios	Rendimiento/ superficie	Costos/ ha	Viabilidad técnica	Tiempo de implementación	Ventajas	Desventajas	Observaciones
<b>Manual</b>	Jornal ó mano de obra diaria (\$200)	200 m <sup>2</sup>	\$10,000	Muy Viable y sencilla.	1 mes	Resultados inmediatos	Dificultades para la organización y logística a escalas regional. Muy costosa	La simplicidad de este método facilita su implementación, sin embargo se generan grandes cantidades de biomasa de los individuos extraídos, los cuales si no se le da un manejo apropiado pueden ser fuente de nuevos focos de invasión. Queda el banco de semillas o propágulos en el suelo, por lo cual hay que utilizar esta técnica repetidamente.
<b>Contención</b>	Producción por lote y propagación de semillas de <i>Setaria parviflora</i> y propágulos de <i>Sedum</i> sp (\$20,000)	Experimental	\$10,000- \$50,000	Con fases experimentales viables .	1 año	No tiene efectos sobre la biodiversidad nativa	Solución lenta con pasos intermedios como la producción de semillas y propágulos nativos en un proceso en lotes puede involucrar un rezago temporal en la implementación de la estrategia de manejo.	La contención con especies nativas es una solución viable, sin daños colaterales a las especies nativas. La metodología para contener la invasión varía dependiendo de la superficie de los parches invadidos. Asimismo la reproducción sexual implica un grado mayor de contención. Por lo tanto se sugiere la eliminación de propágulos reproductivos para que la contención sea mas efectiva).

Estrategia de control	Costos unitarios varios	Rendimiento/ superficie	Costos/ ha	Viabilidad técnica	Tiempo de implementación	Ventajas	Desventajas	Observaciones
<b>Cubierta de Plástico</b>	Rollo polietileno (\$2500)	330 m <sup>2</sup>	\$76,250	Viabilidad técnica	6 meses	Alta efectividad de obstrucción lumínica. Desección de plantas sin el uso de herbicidas.	Alto costo, residuos plásticos y posibles rupturas. Efecto no selectivo	La cubierta de polietileno es una manera mecánica y eficaz para estresar y erradicar a las plantas invasoras, sin embargo de no ser reutilizado adecuadamente, se generarán cantidades considerables de desechos plásticos.
<b>Herbicidas</b>	1 litro de Glifosato +2,4-D amina (\$125) aspersora(\$600) Jornal(\$200)	10,000 m <sup>2</sup>	\$400	Viable por la familiaridad con la técnica.	1 mes	Fácil aplicación y técnicas de desmonte comunes.	Alta toxicidad, residuos nocivos para la salud, toxico para la biota nativa.	Es una técnica utilizada comúnmente en áreas agrícolas, sin embargo la toxicidad de los herbicidas esta comprobada, además de tener tiempos de vida media en el suelo.

## Discusión

Los resultados obtenidos sobre la distribución de *B. pinnatum* muestran que está presente en el 16% del total de puntos muestreados, dentro del polígono delimitado. Pese a que *B. pinnatum* se localiza en diferentes sitios hay una mayor concentración de ésta especie en la zona que corresponde al municipio de Jilotepec y en menor proporción en Actopan. Es importante señalar que la mayoría de registros de *B. pinnatum* están en selva baja que crece en mal país. Éstos sitios corresponden a áreas con intervención humana como cultivos de café, vegetación ruderal, zonas de borde, así como caminos y brechas. Este patrón coincide con lo reportado para otras especies invasoras, las cuales se distribuyen en forma abundante en las zonas de mayor alteración antrópica (Villaseñor y Espinoza-García 2004).

En relación a la riqueza y abundancia de especies nativas, los resultados muestran que en las zonas invadidas existe una disminución en el número, abundancia y reclutamiento de especies. Este patrón puede relacionarse con las características de historia de vida de *B. pinnatum* (alta reproducción vegetativa, metabolismo CAM, alto contenido de metabolitos secundarios) y a la ausencia de enemigos naturales, que en conjunto le confieren una mayor habilidad competitiva. Otro factor que influye directamente en el reclutamiento de las plantas nativas son los efectos alelopáticos de *B. pinnatum* sobre la germinación y el crecimiento de las mismas. Por ejemplo, se ha demostrado que los efectos alelopáticos de algunas especies del género *Bryophyllum* se presentan en las etapas iniciales del desarrollo de las plántulas de diferentes especies (Bär et al. 1997; Golubov 2012). Este trabajo muestra que el efecto de extractos acuosos de *B. pinnatum* es dependientes de la especie. Sólo para los casos de *H. patens* y *D. viscosa* hubo una disminución en el porcentaje de germinación en concentraciones mayores al 25%, en contraste para *L. sativa*, *L. acapulcensis* y *P. erythrocarpa* no hubo un efecto en la germinación. Los resultados de este experimento muestran que no existe un efecto de los extractos en la tasa de crecimiento de las plantas ni en la asignación de biomasa. En todas las especies se registró alta mortalidad de plántulas. Sin embargo, ésta mortalidad no puede ser atribuida únicamente a los extractos debido a que en dos especies (*L. sativa* y *P. erythrocarpa*), en el tratamiento control, no hubo supervivencia e incluso a mayor concentración de los extractos se incrementó el crecimiento en *D. viscosa* (50%). Aunque se ha comprobado el efecto alelopático de *B. pinnatum* sobre distintas especies, tanto silvestres como cultivadas, sus efectos varían en función de las capacidades de respuesta de cada una de ellas (Nazir et al. 2014). Esto sugiere que los

compuestos fenólicos interactúan con el sistema hormonal a nivel individual, por ello, los efectos no son similares entre individuos y especies (Groner 1975; Nazir et al. 2014).

Por otra parte, se ha demostrado que la invasión por plantas exóticas generan cambios en los reservorios y la dinámica de nutrientes en el suelo, lo que puede acelerar el proceso de invasión y alterar el funcionamiento de los ecosistemas (Herrera et al. 2011). En este trabajo el suelo de sitios invadidos por *B. pinnatum* presentó mayor cantidad de materia orgánica y carbono, esto puede ser debido a la gran cantidad de hojarasca que genera ésta planta, la cual además puede incrementar la humedad, lo que a largo plazo puede aumentar la actividad metabólica de la biota del suelo. Por ejemplo en Venezuela se ha reportado que *K. daigremontiana* modifica el ciclo del carbono en el suelo a través de un aumento en el contenido de carbono, la actividad metabólica total de la microbiota del suelo, el flujo de carbono suelo-atmosfera y la mineralización del carbono en el suelo de los sitios invadidos. Éstos cambios a largo plazo podrían incrementar la disponibilidad de nutrientes y favorecer el proceso de invasión (Herrera et al. 2011).

Considerando la gran cantidad de flores y la alta concentración del néctar de *B. pinnatum*, ésta especie podría estar interfiriendo en las tasas de polinización de las especies nativas al ofrecer mayores recompensas, algunos estudios han demostrado que el néctar de las plantas invasoras es mas rico en azúcares y abundante que el de las plantas nativas, esto puede deberse a que las especies invasoras son buenas competidoras por recursos abióticos y no tienen enemigos naturales, por lo cual pueden asignar más recursos al despliegue de recompensas florales (Morales y Traveset 2009). Esto puede atraer a más polinizadores y alterar las interacciones mutualistas. Por ejemplo Bartomeus y colaboradores (2008) reportan que en sitios invadidos por *Carpobrotus affinne acinaciformis* y *Opuntia stricta* en España, las redes de polinización son alteradas, ambas especies tuvieron una mayor visita de polinizadores que las plantas nativas. Al ocurrir esto la mayor parte del polen que transporten los polinizadores será de las especies invasoras, al llegar al estigma de plantas nativas puede interferir con la fecundidad de las plantas o, en algunos casos, hibridizar. A largo plazo esto puede tener severas consecuencias negativas sobre el éxito reproductivo y la diversidad genética de las plantas nativas (Bartomeus et al. 2008; Morales y Traveset 2009).

En cuanto a las tasas vitales, los datos indican que la supervivencia de las plantas de *B. pinnatum* marcadas es de alrededor del 60%, lo cual es relativamente bajo considerando que es una especie invasora. Encontramos una clara relación entre el tamaño individual y las distintas tasas vitales estimadas como la supervivencia, el crecimiento y el esfuerzo reproductivo por vía sexual.

Aunque *B. pinnatum* presenta reproducción sexual y asexual, la vía asexual es la preponderante. Estos datos concuerdan con lo reportado por González de León et al. 2016 quienes reportan una baja germinación de semillas (< 1%) y sobrevivencia de plantas producidas por semillas. Por lo cual, el crecimiento poblacional de *B. pinnatum* está determinado principalmente por la vía asexual. La baja germinación de las semillas de *B. pinnatum* puede ser explicada en parte por el hecho de que esta especie es parcialmente auto incompatible (González de León et al. 2016).

En síntesis los resultados de este estudio muestran que *B. pinnatum* está establecida en los remanentes de selva baja caducifolia que crece en mal país y en sitios con alguna perturbación del hábitat dentro del polígono estudiado. Cabe mencionar que uno de los mayores remanentes de selva baja caducifolia que crece en mal país no entra dentro del polígono de la RTP-104. Sin embargo, este fragmento es muy importante en términos de conservación debido a su extensión y a que presenta poca perturbación antropogénica. En este sitio registramos que la invasión de *B. pinnatum* se restringe a la periferia, por lo cual se podría implementar una estrategia de control a través de remoción manual y contención con especies nativas. En los sitios donde la invasión es muy extensa será muy difícil y costoso erradicar a la especie, considerando que su reproducción depende principalmente de propágulos vegetativos. Por ello, es muy importante evitar que se siga dispersando, para lo cual sugerimos una campaña de concientización con los pobladores locales, ya que ellos representan el principal dispersor. Nuestros resultados muestran que esta especie está desplazando a otras de plantas nativas restringiendo el reclutamiento de las mismas a través de interferencia del espacio de crecimiento y reducción en las tasas de germinación para algunas especies. A largo plazo la invasión por esta especie generará la pérdida de biodiversidad de uno de los refugios pleistocénicos del país, la selva baja caducifolia que crece en mal país en el centro de Veracruz. En México, las selvas bajas caducifolias ocupan aproximadamente el 11.26% de la superficie nacional y destacan por la gran cantidad de endemismos (40%). De acuerdo a nuestra revisión en diferentes fuentes nacionales e internacionales hay registros de *B. pinnatum* en 18 estados del país y en su mayoría se encuentran en selva baja. Cabe mencionar que, si bien *B. pinnatum* se establece en sitios áridos, existen registros de su presencia en México en otras asociaciones vegetales por lo que el riesgo de expansión es aún mayor. Considerando los efectos negativos sobre la regeneración de plántulas y la importancia de las selvas bajas caducifolias resulta prioritario que *B. pinnatum* se reconozca como una especie invasora establecida en México.

## Conclusiones

En este estudio se corroboró que *B. pinnatum* se establece en sitios perturbados de la selva baja caducifolia que se distribuye en mal país. En futuras investigaciones se debe analizar si el patrón de distribución encontrado en este estudio se repite en otras selvas secas y otros tipos vegetación, con el propósito establecer su distribución y grado de invasión dentro del territorio nacional.

Se confirmó que *B. pinnatum* disminuye el reclutamiento de especies nativas de la selva baja caducifolia, lo cual a largo plazo afectará los procesos ecosistémicos y comprometerá el bienestar de las poblaciones locales. Por lo tanto, se deben realizar estudios que evalúen los cambios en los servicios ambientales de los sitios invadidos por *B. pinnatum*.

Debido a los efectos negativos en las comunidades vegetales y a su alta tasa de crecimiento poblacional es prioritario desarrollar estrategias de control y erradicación viables a corto y mediano plazo. Así como realizar un programa amplio de divulgación sobre la problemática que representa *B. pinnatum*, con el objeto de que la población pueda colaborar con acciones preventivas y de control.

## Literatura citada

- Aguirre-Muñoz A, Mendoza-Alfaro R. 2009. Especies exóticas invasoras: impactos sobre las poblaciones de flora y fauna, los procesos ecológicos y la economía, en *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencia de cambio. CONABIO, México, pp. 277-318.
- Allorge-Boiteau L. 1996. Madagascar centre de speciation et d'origine du genre *Kalanchoe* (Crasulaceae). *Biogéographie de Madagascar* 137-145.
- Bär W, Pfeifer P, Dettner K. 1997. Intra-and interspecific allelochemical effects in three *Kalanchoe*-species (Crasulaceae). *Zeitschrift für Naturforschung. Section C, Biosciences* 52: 441-449
- Bartomeus I, Vilà M, Santamaría L. 2008. Contrasting effects of invasive plants in plant-pollinator networks. *Oecologia* 155:761-770
- Capdevila-Argüelles L, Zilletti B, Suárez Álvarez VA. 2013. Causas de la pérdida de biodiversidad: Especies exóticas invasoras. *Real Sociedad Española de Historia Natural* 2ªép 10:55-75.
- Castillo-Campos G, Dávila PA, Zavala JA. 2007. La selva baja caducifolia en una corriente de lava volcánica en el centro de Veracruz: Lista florística de la flora vascular. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 080: 77-104.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2014. Quinto Informe Nacional de México ante el Convenio de la Diversidad Biológica (CDB). CONABIO. México
- Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras. 2010. Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Cruden RW, Hermann SM. 1983. Studying néctar? Some observations on the art, pp. 223-241. En : B. Bentley y T. Elias (eds.). *The biology of nectaries*. Columbia University Press, New York.
- Ellner SP, Rees M. 2006. Integral projection models for species with complex demography. *The American Naturalist* 167: 410-428.
- Fletcher CS, Westcott DA, Murphy HT, Grice AC, Clarkson JR. 2015. Managing breaches of containment and eradication of invasive plant populations. *Journal of applied ecology* 52: 59-68.
- García E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) Editado por la autora. Cuarta edición. México DF.

- Gardener M, Bustamente RO, Herrera I, Durigan G, Pivello VR, Moro MF, Stoll A, Langdon B, Baruch Z, Rico A, Arredondo-Núñez A, Flores S. 2012. Plant invasions research in Latin America: fast track to a more focused agenda. *Plant Ecology and Diversity* 5: 225-232.
- Gobierno de Australia. 2010. Australian Weeds committee. Noxious weed list.
- Golubov Figueroa, J. K. 2012. Especies ornamentales invasoras: el caso de *Kalanchoe delagoensis*. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. GN047. México D. F.
- González de León S, Herrera I, Guevara R. 2016. Mating system, Population growth, and management scenario for *Kalanchoe pinnata* in an invaded seasonally dry tropical forest. *Ecology and Evolution* 6:4541-4550
- Groner MG. 1975. Allopathic influence of *Kalanchoe daigremontiana* on other species of plants. *Botanical Gazette* 136: 207-211.
- Hannan-Jones MA, Playford J. 2002. The biology of Australian Weeds 40. *B. Salisb. Species. Plant Protection Quarterly* 17: 42-57.
- Herbario Arturo Gómez-Pompa (XALU). Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. México.
- Herbario (ASU). Arizona State University. Tempe, Arizona. USA.
- Herbario (AUDY). Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán. México.
- Herbario (CH). El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de las Casas, Chiapas. México.
- Herbario (CHIP). Instituto de Historia Natural. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México.
- Herbario (CIQR). El Colegio de la Frontera Sur. Chetumal, Quintana Roo. México
- Herbario (ENCB). Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México. México.
- Herbario (MO). Missouri Botanical Garden. Saint Louis, Missouri. USA.
- Herbario (TEX). University of Texas at Austin. Austin, Texas. USA.
- Herbario (UCAM). Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, Campeche. México.
- Herbario (XAL). Instituto de Ecología, AC. Xalapa, Veracruz. México.
- Herbario (ZEA). Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur. Autlán de Navarro, Jalisco. México.
- Herbario CICY (CICY). Centro de Investigación Científica de Yucatán, AC. Mérida, Yucatán. México.
- Herbario del Centro Regional del Bajío (IEB). Instituto de Ecología, AC. Pátzcuaro, Michoacán. México.

- Herbario Eizi Matuda (HEM). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México.
- Herbario Iztacala (IZTA). Universidad Nacional Autónoma de México, Iztacala. Ciudad de México. México.
- Herbario Jerzy Rzedowski (QMEX). Universidad Autónoma de Querétaro, Centro Universitario. Querétaro, Querétaro. México.
- Herbario Nacional. (MEXU). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. México.
- Herbario of Geo. B. Hinton (GBH). Saltillo, Coahuila. México.
- Herbario-Hortorio (CHAPA). Colegio de Postgraduados. Chapingo, Estado de México. México.
- Herrera I, Chacón N, Flores S, Benzo D, Martínez J, García B y Hernández-Rosas JI. 2011. La planta exótica *Kalanchoe daigremontiana* incrementa el reservorio y flujo de carbon en el suelo. *Interciencia* 36: 937-942.
- Holm L, Doll J, Holm E. Pancho J, Herberger J. 1997. *World weeds: natural histories and distribution*. John Wiley and Sons, New York.
- McInnis SM, Emery DC, Porter R, Desikan R, Hancock JT, Hiscock SJ. 2006. The role of stigma peroxidases in flowering plants: insights from further characterization of a stigma-specific peroxidase (SSP) from *Senecio squalidus* (Asteraceae). *Journal of Experimental Botany* 57: 1835–184.
- McKenzie RA. 1987. Mother of millions. En: *Toxic Plants and Animals a guide for Australia*. J. Covacevich., P. Davie y J. Pearin (eds.). Queensland Museum, Brisbane.
- Millenium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis*. Washington, DC. USA: World Resources Institute.
- Morales CL, Traveset A. 2009. A meta-analysis of impact of alien vs. native plants on pollinator visitation and reproductive success of co-flowering native plants. *Ecology Letters* 12:716-728.
- Mueller-Dombois D Ellenberg H. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. Wiley, New York. 547 p.
- Nazir T, Uniyal AK, Ahmed M. 2014. Allelopathic response of medicinal plants on germination and growth of traditional field crops. *The Indian Forester* 140: 695-700.
- Quazi Majaz, A., A.U. Tatiya, M. Khurshid, S. Nazim y S. Siraj. 2011. The miracle plant (*Kalanchoe pinnata*): a phytochemical and pharmacological review. *International Journal of Research in Ayurveda & Pharmacy* 2: 1478-1482.

- Ramírez-López I, Villegas Ríos M, Cano-Santana Z. 2012. Diversidad de Agaricomycetes clavarioides en la Estación de Biología de Chamela, Jalisco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83:1084-1095.
- Rojas-Sandoval J, Acevedo-Rodríguez P. 2013. Datasheet report for *Kalanchoe pinnata* (cathedral bells). Invasive species compendium. <http://www.cabi.org/isc/datasheet/29328>
- Rossignol JP, Geissert D. 1987. Morfoedafología del área Xalapa-Coatepec: Recursos en Tierras, escala 1:75,000. Instituto Nacional de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos y Institut de Reserche pour le Developpement (ORSTOM), Xalapa.
- Sandoval MC, Martínez JL. 1994. El uso de *Kalanchoe pinnata* (Lam) Pers. En el estado de Veracruz. *La ciencia y el hombre* 16: 49-56.
- Shivanna KR, Tandon R. 2014. Reproductive ecology of flowering plants: A manual. Springer New Delhi Heidelberg New York Dordrecht London. pp 42-44.
- Singh R, Upadhyay BS, Singh D, y Chaudhary HC. 1999. Aphids (Homoptera: Aphididae) and their parasitoids in north-eastern uttar pradesh. *The Aphidological Society, India*, 13: 49-62.
- Sparkes EC, Grace S, Panetta FD. 2002. The effects of various herbicides on *Bryophyllum pinnatum* (Lam.) Pers in Nudgee Wetlands Reserve, Queensland. *Plant Protection Quarterly* 17:77-80.
- Vilà M, Espinar JL, Hejda M, Hulme PE, Jarošík V, Maron JL, Pergl J, Schaffner U, Sun Y, Pyšek P. 2011. Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. *Ecology Letters* 14: 702-708.
- Villaseñor JL, Espinosa-García FJ. 2004. The alien flowering plants of Mexico. *Diversity and Distributions* 10: 113-123
- Vitousek PM, D'Antonio CM, Loope L.L, Rejmánek M, Westbrooks R. 1997. Introduced species: a significant component of human-caused global change. *New Zealand Journal of Ecology* 21: 1-16
- Williams MC, Smith MC. 1984. Toxicity of *Kalanchoe* spp. in chicks. *American Journal of Veterinary Research*. 45: 543-546