



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS CAMPECHE

POSTGRADO DE BIOPROSPECCIÓN Y SUSTENTABILIDAD
AGRÍCOLA EN EL TRÓPICO

EFECTO DE LAS MICORRIZAS EN LA CALIDAD DE PLÁNTULA EN VIVERO DE *Brosimum alicastrum* Swartz

EZEQUIEL ESPINOSA GRANDE

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

SIHOCHAC, CHAMPOTÓN, CAMPECHE, MÉXICO

2022



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: **Efecto de las micorrizas en la calidad de plántula en vivero de *Brosimum alicastrum* Swartz**, realizada por el estudiante, **Ezequiel Espinosa Grande**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN
BIOPROSPECCIÓN Y SUSTENTABILIDAD AGRÍCOLA EN EL TRÓPICO

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

DR. ALBERTO SANTILLÁN FERNÁNDEZ

CODIRECTOR

DR. BRUNO MANUEL CHÁVEZ VERGARA

ASESOR

DRA. ARELIY ANAYANSI VARGAS DÍAZ

ASESOR

DR. JAIME BAUTISTA ORTEGA

ASESOR

DR. ALFREDO ESTEBAN TADEO NOBLE

Sihochac, Champotón, Campeche, México, junio de 2022

EFFECTO DE LAS MICORRIZAS EN LA CALIDAD DE PLÁNTULA EN VIVERO DE *Brosimum alicastrum* Swartz

Ezequiel Espinosa Grande, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022

RESUMEN

Brosimum. alicastrum es una especie forestal que se distribuye de manera natural con prácticamente nulo manejo silvícola. Por su alto potencial para la alimentación animal y humana, la demanda de sus ejemplares (fruto y planta) se ha incrementado, y con ello la necesidad de generar investigación sobre su propagación en vivero. Ante este contexto el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de las micorrizas y fertilización en la calidad de plántula producida mediante semilla en vivero, para determinar que factor: micorriza, fertilización o su asociación inciden en su calidad; para ello se empleó un diseño experimental con arreglo factorial en bloques al azar, y se construyeron indicadores morfológicos que relacionan la proporción de la parte aérea de la plántula con su sistema radicular. Se encontró que el factor fertilizante fue el que condicionó la calidad de las plántulas, mientras que el factor micorrizas y la asociación de estas con el fertilizante no fue significativo. Las mejores medias para las variables (parte aérea y raíz) se obtuvieron cuando se emplearon fertilizantes minerales. Sin embargo, los indicadores morfológicos de calidad de plántula mostraron que los tratamientos que incluyeron fertilizantes orgánicos y el testigo tuvieron la mejor calidad de plántula. También se encontró que la especie no tolera pH ácidos de los factores empleados en su propagación.

Palabras clave: Árbol Ramón, ectomicorriza, endomicorriza, fertilizante mineral, fertilizante orgánico, micorriza arbuscular.

EFFECT OF MYCORRHIZAE AND FERTILIZATION ON THE QUALITY OF SEEDLING IN *Brosimum alicastrum* Swartz FOREST NURSERY

Ezequiel Pérez Grande M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022

ABSTRACT

Brosimum alicastrum is a forest species that is distributed naturally with practically no silvicultural management. Due to its high potential for animal and human food, the demand for this species (fruit and plant) has increased, and with it the need to generate research on its propagation in nursery. Given this context, the objective of this research was to evaluate the effect of mycorrhizae and fertilization on the quality of seedling produced by seed in nursery, to determine what factor: mycorrhizae, fertilization or their association affect its quality; to this end, an experimental design was used with factorial arrangement in random blocks, and morphological indicators were constructed that relate the proportion of the aerial part of the seedling with its root system. It was found that the fertilizer factor was the one that conditioned the quality of the seedlings, while the mycorrhizae factor and their association with the fertilizer was not significant. The best means for the variables (aerial and root part) were obtained when mineral fertilizers were used. However, morphological indicators of seedling quality showed that treatments that included organic fertilizers and the control had the best seedling quality. It was also found that the species does not tolerate the acidic pH of the factors used in its propagation.

Key words: Ramon tree, ectomycorrhiza, endomycorrhiza, mineral fertilizer, organic fertilizer, arbuscular mycorrhizae

DEDICATORIA

A dios, a mis padres y hermanos que siempre me han apoyado incondicionalmente.

AGRADECIMIENTOS

Al consejo nacional CONACyT que gracias a ellos pude tener un solvento económico el cual me permitió permanecer y terminar el postgrado.

Al Colegio de Postgraduados campus Campeche por abrirme las puertas para poder continuar mis estudios en el Programa de Maestría en Ciencias Bioprospección y Sustentabilidad Agrícola en el Trópico (BIOSAT), y al mismo tiempo permitirme conocer nuevas personas y experiencias durante mi estancia en sus instalaciones.

A mi tutor y asesor **Dr. Alberto Santillán Fernández** por todo el apoyo que me ha brindado dentro y fuera del ámbito educativo, al **Dr. Jaime Bautista Ortega** por sus aventuras, su asesoramiento y apoyo cercano durante el tiempo que duro la investigación. A mis asesores la **Dra. Areli Anayansi Vargas Días**, **Dr. Bruno Manuel Chávez Vergara**, **Dr. Alfredo Esteban Tadeo Noble** y al **Dr. Francisco Alfonso Larqué Saavedra** por su aporte de conocimientos y experiencias cada uno en su tema de especialidad los cuales sirvieron para dar continuidad a la investigación y de manera personal fueron de gran ayuda para resolver y dar respuesta a grandes interrogantes que se fueron presentando durante este proceso.

A mis compañeros y amigos Abimael Calva Castillo, Cecilia, Orlando Valentín Santés, Luis Marcelino Pelcastre y Judith Escobar por su compañía y apoyo en diferentes circunstancias que me sirvió para tener una estadía más agradable durante el tiempo que permanecí en Campeche. A Lucy Tania y Elizabeth Torres quienes moralmente siempre me apoyaron y animaron a permanecer y terminar esta etapa de estudios y con quienes cree una bonita amistad.

A la **Lic. Lilia**, a la **Dra. Zulema**, quienes me apoyaron y orientaron en diversas ocasiones y diferentes temas administrativos y relacionados con la investigación de igual manera crearon un ambiente más agradable dentro de las instalaciones del COLPOS Campeche.

A todas las personas, compañeros y amigos que influyeron directa e indirectamente a la continuidad de mi formación académica durante los dos años que duro la maestría.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
INTRODUCCIÓN	1
Justificación	1
Antecedentes	1
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	3
Hipótesis	3
Objetivo General	3
Objetivo Específico	3
CAPÍTULO I. ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA SOBRE EL ÁRBOL RAMÓN (<i>Brosimum alicastrum</i> Swartz)	4
1.1. INTRODUCCIÓN	4
1.2. MATERIALES Y MÉTODOS	6
1.2.1. Origen de la información	6
1.2.2. Indicadores bibliométricos	6
1.2.3. Análisis con minería de textos	8
1.2.4. Análisis de redes	8
1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
1.3.1. Producción científica a nivel internacional	9
1.3.2. Indicadores bibliométricos	14
1.3.3. Artículos científicos	19
1.3.4. Producción científica en México sobre el tema de <i>B. alicastrum</i>	23
1.4. CONCLUSIÓN	26
CAPÍTULO II. EFECTO DE LAS MICORRIZAS Y FERTILIZACIÓN EN LA CALIDAD DE PLÁNTULA EN VIVERO DE <i>Brosimum alicastrum</i> Swartz	27
2.1. INTRODUCCIÓN	27

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS	29
2.2.1. Área de estudio	29
2.2.2. Pruebas de viabilidad de las semillas de <i>B. alicastrum</i>	30
2.2.3. Diseño experimental	31
2.2.4. Análisis estadístico	33
2.2.5. Índice de calidad de plántulas	34
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
2.3.1. Pruebas de viabilidad de las semillas de <i>B. alicastrum</i>	35
2.3.2. Efecto de las micorrizas y fertilización en la calidad de plántula	35
2.3.3. Índice de calidad de plántulas	45
2.4. CONCLUSIÓN	48
CONCLUSIONES GENERALES	49
LITERATURA CITADA	51
ANEXOS	59

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Frecuencia e indicadores bibliométricos de los trabajos más citados por tipo de texto donde la especie <i>Brosimum alicastrum</i> fue objeto de estudio de 1883 a 2020.	16
Cuadro 2. Temporalidad y frecuencia por tipo de texto y área de investigación de los trabajos donde la especie <i>Brosimum alicastrum</i> fue objeto de estudio de 1883 a 2020.	17
Cuadro 3. Indicadores bibliométricos de las principales revistas que publicaron artículos científicos a nivel internacional donde la especie <i>Brosimum alicastrum</i> fue el principal tema de estudio de 1883 a 2020, ordenadas de acuerdo al número de artículos publicados.....	21
Cuadro 4. Indicadores bibliométricos de los principales textos donde la especie <i>Brosimum alicastrum</i> fue tema de estudio de 1883 a 2020, ordenados de acuerdo al número citas bibliográficas.	22
Cuadro 5. Principales instituciones de investigación en México que publicaron textos científicos sobre la especie <i>B. alicastrum</i>	24
Cuadro 6. Propiedades fisicoquímicas de las micorrizas y fertilizantes empleados para evaluar su efecto en la calidad de plántula en vivero de <i>Brosimum alicastrum</i> Swartz	32
Cuadro 7. Indicadores morfológicos y fisiológicos para determinar la calidad de plántula de <i>Brosimum alicastrum</i> producida mediante semilla en vivero.	34
Cuadro 8. Análisis de varianza para determinar el efecto de las micorrizas y fertilización en la calidad de plántula de <i>Brosimum alicastrum</i> , reproducidas mediante semilla en vivero	36
Cuadro 9. Prueba de medias por Tukey ($\alpha = 0.05$) para determinar el efecto del tipo de fertilizante en la calidad de plántula de <i>Brosimum alicastrum</i> , reproducidas mediante semilla en vivero.	39
Cuadro 10. Prueba de medias por Tukey ($\alpha = 0.05$) para determinar el efecto del tipo de micorriza en la calidad de plántula de <i>Brosimum alicastrum</i> , reproducidas mediante semilla en vivero.	40

Cuadro 11. Prueba de medias por Tukey ($\alpha = 0.05$) para determinar el efecto de la interacción fertilizante-micorriza en la calidad de plántula de <i>Brosimum alicastrum</i> , reproducidas mediante semilla en vivero.	41
Cuadro 12. Indicadores de calidad de plántula de <i>B. alicastrum</i> producida mediante semilla en vivero, donde se evaluó el efecto de las micorrizas y fertilización en la calidad de plántula	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la investigación efecto de las micorrizas en la calidad de plántula en vivero de <i>Brosimum alicastrum</i> Swartz	2
Figura 2. Evolución temporal de textos científicos y citas bibliográficas de <i>Brosimum alicastrum</i> de 1883 hasta 2020.	10
Figura 3. Ubicación espacial a nivel internacional de la productividad de textos de la especie <i>Brosimum alicastrum</i> de 1883 a 2020. A: Países de Latinoamérica; B: Países de Europa	11
Figura 4. Red de autores y coautores a nivel mundial que han desarrollado trabajos donde la especie <i>Brosimum alicastrum</i> fue objeto de estudio de 1883 a 2020.	13
Figura 5. Relación espacial entre la probabilidad de distribución natural potencial y las instituciones académicas y de investigación en México que han desarrollado trabajos de <i>Brosimum alicastrum</i> desde 1883 hasta 2020.	25
Figura 6. Ubicación espacial de la localidad de recolecta semilla de <i>B. alicastrum</i> y del experimento para evaluar el efecto de las micorrizas y fertilización en la calidad de plántula en vivero.	30
Figura 7. Matriz de correlación de Pearson que asocia las variables de la parte aérea de la plántula de <i>Brosimum alicastrum</i> con las variables de su raíz propagadas mediante semilla en vivero, donde se evaluó el efecto de las micorrizas, fertilizante y su interacción en la calidad de plántula.	42
Figura 8. Agrupación de tratamientos por técnicas multivariadas en función del efecto que tuvieron en la calidad de plántula de <i>Brosimum alicastrum</i> propagadas mediante semilla en vivero	44
Figura 9. Prueba de medias por Tukey ($\alpha = 0.05$) por grupo diferenciado para las variables de la parte aérea y raíz de la plántula de <i>Brosimum alicastrum</i> propagadas mediante semilla en vivero.	45

INTRODUCCIÓN

Justificación

Brosimum alicastrum Swartz, conocido comúnmente como Ramón, ojite, ojuch, mojú u oxx (vocablo Maya), es un árbol de la familia de las *Moraceae*, con amplia distribución en Mesoamérica, de donde se considera es endémico (Vergara-Yoisura *et al.* 2014). Su semilla, follaje, látex y madera tienen un alto potencial económico, tanto para alimentación (animal y humana) como para usos medicinales y culturales (Ramírez-Sánchez *et al.*, 2017). Sin embargo, pese a esta importancia, la especie se distribuye mayormente de manera silvestre en selvas perennifolias y caducifolias, con prácticamente nulo manejo silvícola (Santillán-Fernández *et al.*, 2021a).

Brosimum alicastrum fue incluido en 2019, como una especie prioritaria en el Programa Federal de México denominado Sembrando Vida que coordina la Comisión Nacional Forestal, y cuyo objetivo es propagar la especie con fines de reforestación (CONAFOR, 2021). Este hecho aunado a la importancia del árbol Ramón como un recurso local de amplio uso para la alimentación animal y humana (Ramírez-Sánchez *et al.*, 2017), incrementó la demanda de sus ejemplares (planta y fruto), y con ello la necesidad de generar investigación respecto a la silvicultura de la especie (Santillán-Fernández *et al.*, 2021).

Antecedentes

Los estudios sobre manejo de plántula en vivero para *B. alicastrum* son escasos (Santillán-Fernández *et al.*, 2021a); y los que se han desarrollado se han centrado en evaluar la calidad de la plántula en función de los sustratos (Pérez de la Cruz *et al.*, 2012), fertilización (Rueda-Sánchez *et al.*, 2014), y contenedores (Santillán-Fernández *et al.*, 2021). La información que se ha generado en torno al efecto de las micorrizas en la calidad de plántula para el árbol Ramón es casi nula, aun cuando se ha comprobado su eficacia en especies forestales de clima templado (Castillo-Guevara *et al.*, 2012) y tropical (Ballina-Gómez *et al.*, 2017).

Bajo este contexto la investigación **Efecto de las micorrizas en la calidad de plántula en vivero de *Brosimum alicastrum* Swartz** se planteó desde un enfoque inductivo donde en una primera instancia (Capítulo I) se analizó la investigación científica que se ha desarrollado en torno a la especie, y en un segundo Capítulo se evaluó el efecto de las micorrizas y fertilización en la calidad de plántula producida mediante semilla en vivero. De esta manera la estructura de la investigación estuvo dada por la Figura 1.

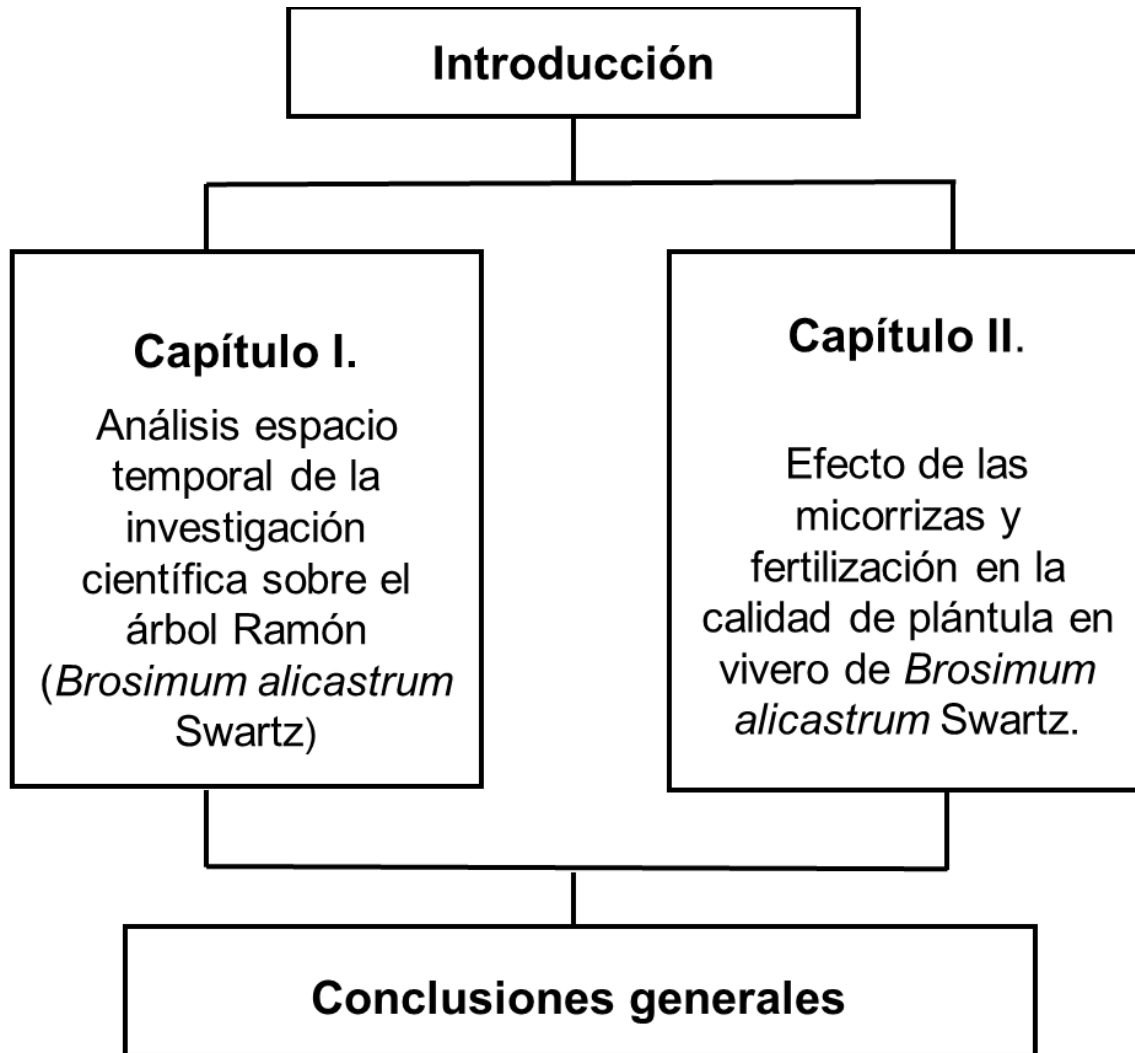


Figura 1. Estructura de la investigación efecto de las micorrizas en la calidad de plántula en vivero de *Brosimum alicastrum* Swartz

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Hipótesis

La plántula de *B. alicastrum* producida mediante la asociación con hongos micorrícicos presenta mejores características dasométricas en vivero, y los indicadores de calidad de plántula resultan con calidad alta en comparación con plántulas testigo.

Objetivo General

Evaluar el efecto de las micorrizas y fertilización en la calidad de plántula de *B. alicastrum* producida mediante semilla en vivero para determinar que factor: micorriza, fertilización o su asociación inciden en la calidad de plántula; para ello se empleó un diseño experimental con arreglo factorial en bloques al azar, y se construyeron indicadores morfológicos que relacionan la proporción de la parte área de la plántula con su sistema radicular.

Objetivo Específico

Analizar la evolución espacio-temporal de la investigación básica y aplicada sobre *Brosimum alicastrum* mediante el análisis bibliométrico, para identificar áreas de oportunidad en investigación no desarrolladas con especial énfasis en el manejo de plántula en vivero.

Evaluar el efecto de las micorrizas y fertilización en la calidad de plántula de *B. alicastrum* producida mediante semilla en vivero.

Evaluar los indicadores morfológicos que relacionan la proporción de la parte área de la plántula con su sistema radicular.

CAPÍTULO I. ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA SOBRE EL ÁRBOL RAMÓN (*Brosimum alicastrum* Swartz)

1.1. INTRODUCCIÓN

Brosimum alicastrum Swartz, conocido comúnmente como Ramón, ojite, ojuch, mojú u ox (vocablo Maya), es un árbol originario de Mesoamérica y el Caribe con amplia distribución en México (Peters y Pardo-Tejeda, 1982). Es apreciado por poseer follaje con alto contenido nutritivo, principalmente para el ganado vacuno y caprino, y por su disponibilidad durante las épocas de sequía (Hernández-González *et al.*, 2014; Rojas-Schroeder *et al.*, 2017). *B. alicastrum* Sw. representa un elemento ecológicamente importante en la composición florística de las selvas baja y mediana del sur de México (Gutiérrez-Granados y Dirzo, 2009).

En México, la cultura Maya cultivó y consumió los frutos de *B. alicastrum*, que llegaron a ser denominados como el maíz de los Mayas por la importancia en alimentación que representó la especie para la cultura (Meiners *et al.*, 2009). La semilla, follaje, látex y madera de *B. alicastrum* Sw. tienen un alto potencial económico, tanto para alimentación (animal y humana) como para usos medicinales y culturales (Ramírez-Sánchez *et al.*, 2017; Domínguez-Zarate *et al.*, 2019). Sin embargo, aun con toda esta importancia, en la actualidad la especie se distribuye mayormente de manera natural, con prácticamente nulo manejo silvícola (Santillán-Fernández *et al.*, 2021a).

Por sus propiedades en la restauración de suelos degradados, *B. alicastrum* fue incluido en 2019, como una especie prioritaria en el Programa Federal de México denominado Sembrando Vida que coordina la Comisión Nacional Forestal, y cuyo objetivo es propagar la especie con fines de reforestación (CONAFOR, 2021). Además, ante un contexto de cambio climático y seguridad alimentaria, *B. alicastrum* Sw. se ha convertido en un recurso local de amplio uso para la alimentación animal y humana (Ramírez-Sánchez *et al.*, 2017). Ante estos escenarios, la demanda por ejemplares (planta y fruto) de *B. alicastrum* se ha incrementado, y con ello la necesidad de generar investigación respecto a los tópicos forestales de la especie (Santillán-Fernández *et al.*, 2020; López, 2021).

De acuerdo con Santillán-Fernández *et al.* (2021b) para detectar vacíos en investigación de un tópico en particular, donde se requiere generar nuevo conocimiento, las técnicas bibliométricas son las más adecuadas, ya que permiten generar indicadores y modelos matemáticos para caracterizar el desarrollo y evolución de la frecuencia y calidad de los textos publicados en torno al tópico de interés (Malesios y Arabatzis, 2012). La publicación de un texto científico, es el modo más efectivo de transmitir un conocimiento adquirido como consecuencia de la investigación, y su visibilidad es importante para los propios investigadores, para las instituciones en que trabajan y las organizaciones que financian la investigación (Sanz-Valero y Wanden-Berghe, 2017).

En el sector forestal se han desarrollado estudios bibliométricos para temas específicos como silvicultura (Polinko y Coupland, 2020), desarrollo forestal comunitario (Bullock y Lawler, 2015), uso de drones en la determinación de biomasa forestal (Raparelli y Bajocco, 2019), e incluso para evaluar sistemas forestales nacionales como el caso de India (Hazarika *et al.*, 2003) y Banglades (Miah *et al.*, 2008). Además de evaluar la productividad científica de investigadores forestales en Tanzania (Sife *et al.*, 2013) e India (Parabhoi *et al.*, 2017) y de revistas de alta impacto en el Journal Citation Reports como Forests (Uribe-Toril *et al.*, 2019).

En México estudios como el de Martínez-Santiago *et al.* (2017) en la modelación forestal; Vargas-Larreta *et al.* (2017) en biometría forestal para el manejo integral de los bosques; Reyes-Basilio *et al.* (2020) en la evaluación de anillos de crecimiento para estimación potencial de carbono; Gallardo-Salazar *et al.* (2020) en el uso de drones para la gestión forestal; y Ayala-Montejo *et al.* (2020) que identifica necesidades de investigación sobre la dinámica de carbono y nitrógeno en sistemas agroforestales; han utilizado técnicas bibliométricas.

Sin embargo, estos trabajos analizan temas amplios del sector forestal, y no se centran en la evaluación de una especie en particular. En virtud de ello el objetivo del presente trabajo fue analizar la evolución espacio-temporal de la investigación básica y aplicada sobre *B. alicastrum* mediante el análisis bibliométrico, para identificar áreas de oportunidad en investigación no desarrolladas.

1.2. MATERIALES Y MÉTODOS

1.2.1. Origen de la información

En esta investigación solo se consideraron trabajos donde la especie *B. alicastrum* fue objeto de estudio. Los trabajos donde la especie se menciona, pero no se hizo un análisis o descripción de ella, fueron omitidos. Para la recopilación de los textos se revisaron las bases de datos de las principales casas editoriales (Elsevier, Springer y Scopus), bases de datos de artículos de revistas de acceso abierto (Latindex, Scielo, Redalyc, Claryvate Analytics, Periodica, DOAJ y Conricyt), y el motor de búsqueda web de libre acceso Google Scholar. La información recabada se complementó con las referencias disponibles en el libro “Publicaciones de *Brosimum alicastrum*” de Vergara-Yoisura *et al.* (2014). Los textos se recopilaron de febrero a mayo de 2021, y se consideraron los textos disponibles hasta 2020.

La palabra clave utilizada en la búsqueda fue “*Brosimum alicastrum*” identificándola en los títulos y palabras clave de las publicaciones. Adicionalmente, se utilizó la técnica “bola de nieve” para obtener los textos faltantes, a partir de la lista de referencias de los textos encontrados inicialmente (Leipold, 2014). Sin embargo, por considerar que la técnica bola de nieve al ser una técnica no probabilística puede presentar sesgos en la recuperación de los textos, ya que es más probable que los textos en inglés se citen; se decidió utilizar como palabra clave el nombre científico de la especie, lo que permitió capturar la gran mayoría de las publicaciones relevantes.

1.2.2. Indicadores bibliométricos

Las variables analizadas de cada uno de los textos fueron: *institución editora*, *país de edición*, *idioma de publicación*, y para el caso de los artículos científicos se consideró también el *nombre de la revista*, que sirvieron para determinar el perfil de las instituciones que publican trabajos afines al tópico de *Brosimum alicastrum*. Las variables *primer autor* y *colaboradores* sirvieron para conocer la red de actores involucrados en la investigación; *año* para colocar la información en una línea temporal; *institución del primer autor* y *país de origen del primer autor* para evaluar la frecuencia de publicaciones de las instituciones por país.

El código postal de la institución del primer autor sirvió para determinar la localización geográfica de la institución de origen de la información, en los casos donde no apareció la dirección postal, se buscó el nombre de la institución con herramientas de Google Earth® y en las páginas oficiales de las instituciones. El *título, resumen y palabras clave* se empleó para categorizar el tópico que aborda la publicación conforme la clasificación del Consorcio Nacional de Recursos de Información Científica y Tecnológica (CONRICYT) (CONACYT, 2020) para *B. alicastrum*. Finalmente, con el *número de citas* se determinó el impacto de las publicaciones.

Para la clasificación de los textos por área de investigación se arreglaron las temáticas en nueve categorías: 1) Etnografía: donde se incluyeron los textos que relacionan la especie con la cultura Maya, estudios de paleontología, e historia; 2) Desarrollo rural: textos donde las localidades han logrado algún crecimiento por el uso de *B. alicastrum*, cadena de valor, reconversión productiva, economía, y aprovechamiento sustentable; 3) Usos industriales potenciales: como la generación de etanol, fármacos, biopolímeros, y calidad de la madera; 4) Botánica: descripción taxonómica, genética y fisiología de la especie; 5) Ecología e impacto antrópico: conservación de ecosistemas, composición florística de ecosistemas, efectos de la especie en los suelos, impacto de actividades antropogénicas, resiliencia de la especie, y servicios ambientales (captura de carbono, balance hídrico, y regulación de temperatura); 6) Alimentación animal: en especies domesticas como vacuno, ovino, porcino, caprino, conejo, y gallina; 7) Forestal: viabilidad y almacenamiento de las semillas de *B. alicastrum*, evaluación de la especie en diferentes condiciones de vivero, silvicultura, evaluación de plagas y enfermedades, plantaciones y cosecha, sistemas agrosilvopastoriles, tecnología de la madera, y reforestación; y 8) Alimentación humana, gastronomía y bebidas.

Finalmente los textos también fueron clasificados conforme el tipo de producto académico (CONACYT, 2020) en: 1) Artículo científico, incluyó a textos publicados en revistas con ISSN (Número Internacional Normalizado para Publicaciones Seriadas); 2) Libro, textos publicados por editoriales con ISBN (Número Estándar Internacional de Libros); 3) Tesis: Licenciatura, Maestría y Doctorado; 4) Manual, incluyó aquellos documentos sin ISSN o ISBN donde se plasman instrucciones para recolecta,

propagación y cosecha de la especie; 5) Memoria de congreso en extenso; 6) Trabajo de difusión, incluyó notas periodísticas, entrevistas y textos en línea donde se expresan opiniones o avances en investigación que no han sido sometidas a un proceso de revisión científica; y 7) Informe, incluyó trabajos que solo describen temas en torno a la especie, y que fueron reportados como productos de proyectos de investigación.

La captura de las variables para el análisis bibliométrico se realizó en una hoja de cálculo. Se respetó el idioma original de cada uno de los textos. Durante la captura de toda la información, se estandarizaron algunos registros, debido a que la información disponible en los textos algunas veces estuvo incompleta o se presentó con variantes (Aguado-López *et al.*, 2009). Además, se eliminaron o cambiaron caracteres especiales como: ñ (por n), acentos, superíndices, subíndices, ®, ©, entre otros, para facilitar el análisis.

1.2.3. Análisis con minería de textos

Con ayuda del complemento RcmdrPlugin.temis del software estadístico R (Bouchet-Valat y Bastin, 2013) se obtuvo el número de textos y citas bibliográficas por: año, tipo de texto, categoría de investigación y país de origen del primer autor. Para el caso de México se obtuvo además la frecuencia de textos por institución del primer autor.

1.2.4. Análisis de redes

Con el software Sci2tool (Börner, 2011) se analizaron las interacciones que existen entre los primeros autores y colaboradores con la finalidad de conocer la constancia en la labor del investigador; es decir, evaluar si ha publicado solo en un año o bien ha publicado de manera constante a través del tiempo, lo que da una idea de su consolidación en el tópico de *B. alicastrum*. La sintaxis empleada en el software Sci2tool fue *Extract bipartite Network*, para su visualización se recurrió al software Gephi (Bastian *et al.*, 2009).

Finalmente, con ayuda de la variable *código postal* y herramientas de Google Earth® se obtuvieron las coordenadas geográficas en decimas de grado (Longitud, Latitud) de la institución del primer autor de cada uno de los textos analizados. La representación espacial del número de artículos por país se efectuó en el paquete geográfico ARGIS® (ESRI, 2015). Para el caso de México se asoció espacialmente el área potencial de

distribución de *B. alicastrum* obtenida por Santillán-Fernández *et al.* (2021a), con la frecuencia en publicación de las instituciones del primer autor y la categoría de investigación por institución.

1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.3.1. Producción científica a nivel internacional

De 1883 a 2020 se publicaron un total de 308 textos en donde la especie forestal *B. alicastrum* fue el tema de análisis; esta producción científica dio origen a 9622 citas bibliográficas (Figura 2). El primer trabajo registrado data del año 1883; sin embargo, a partir del año 2000 se presentó una producción creciente para el tópico de *B. alicastrum*. El periodo de mayor productividad fue de 2002 a 2020 con el 72.08% del total (222 textos), lo que contribuyó a una tendencia exponencial en el crecimiento de las publicaciones ($R^2 = 0.648$). Los trabajos más citados fueron los publicados en el periodo 2002-2012 que en conjunto sumaron 5594 citas bibliográficas (58.14% del total).

Vergara-Yoisura *et al.* (2014) atribuyen este crecimiento en el número de publicaciones a la diversidad de usos de la especie sobre todo en la alimentación animal y humana, lo que ha provocado que *B. alicastrum* sea un tema de investigación recurrente en el sureste de México y centro américa. Al respecto Santillán-Fernández *et al.* (2020) encontraron que, en un contexto de seguridad alimentaria, *B. alicastrum* representa una alternativa para la generación de alimentos. Sin embargo, Santillán-Fernández *et al.* (2021c) encontraron que se requiere generar mayor investigación sobre la silvicultura de la especie para garantizar una producción constante de alimentos, al ser en la actualidad una especie que se distribuye mayormente de manera natural con nulo manejo silvícola.

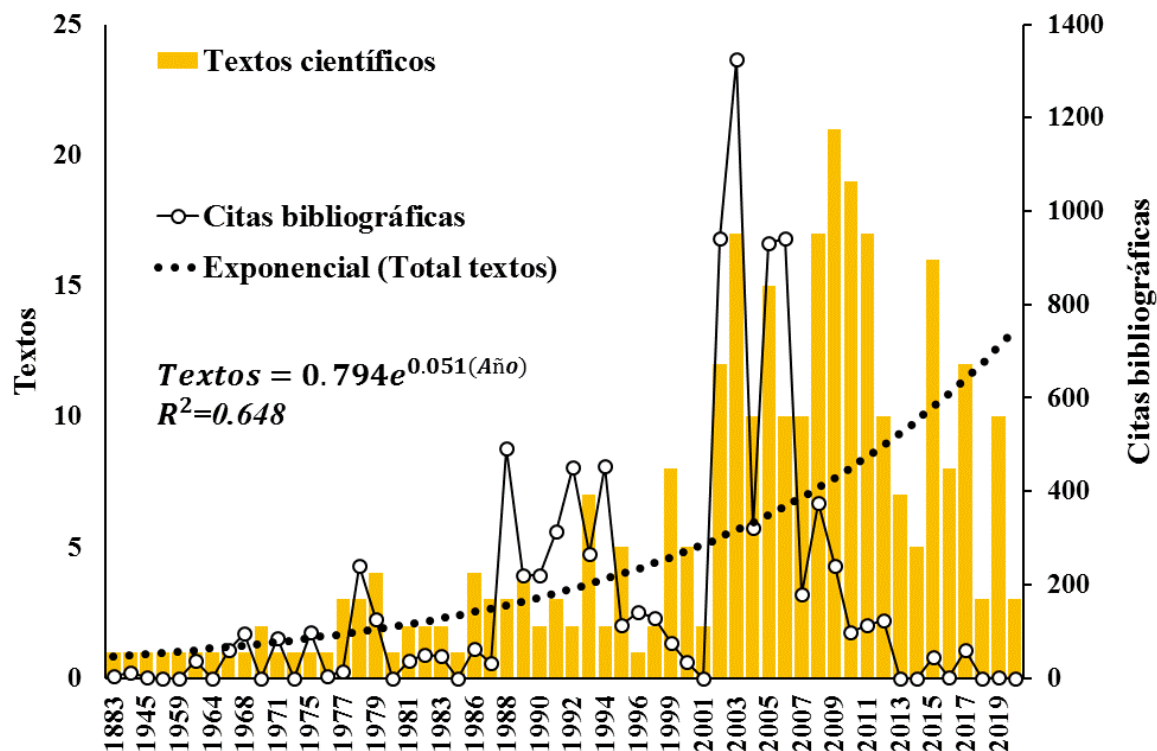


Figura 2. Evolución temporal de textos científicos y citas bibliográficas de *Brosimum alicastrum* de 1883 hasta 2020.

De acuerdo con el país de origen del primer autor en los textos científicos, los 308 trabajos se originaron en 23 países. El 84.74% (254) se concentró en seis países: México (43.83%, 135 textos), USA (25.65%, 79), Guatemala (4.55%, 14), Costa Rica (2.92%, 9), Honduras (2.92%, 9) y El Salvador (2.60%, 8). Destaca el hecho de que los países con mayor producción científica son los países de Latinoamérica, de donde se considera es originaria la especie *B. alicastrum* (Peters y Pardo-Tejeda, 1982) (Figura 2). En la Figura 3, también se observa que se ha desarrollado investigación en torno a la especie en países de Europa, África y Oceanía; lo que ayuda a explicar que el 47.40% (146 textos) estén publicados en idioma inglés y el 52.60% (162) en español. Este hecho es interesante porque de acuerdo con Santillán-Fernández *et al.* (2021b) los investigadores en Latinoamérica publican en su mayoría en español, lo que contribuye a que el impacto de las publicaciones (medido por el número de citas bibliográficas) sea bajo.

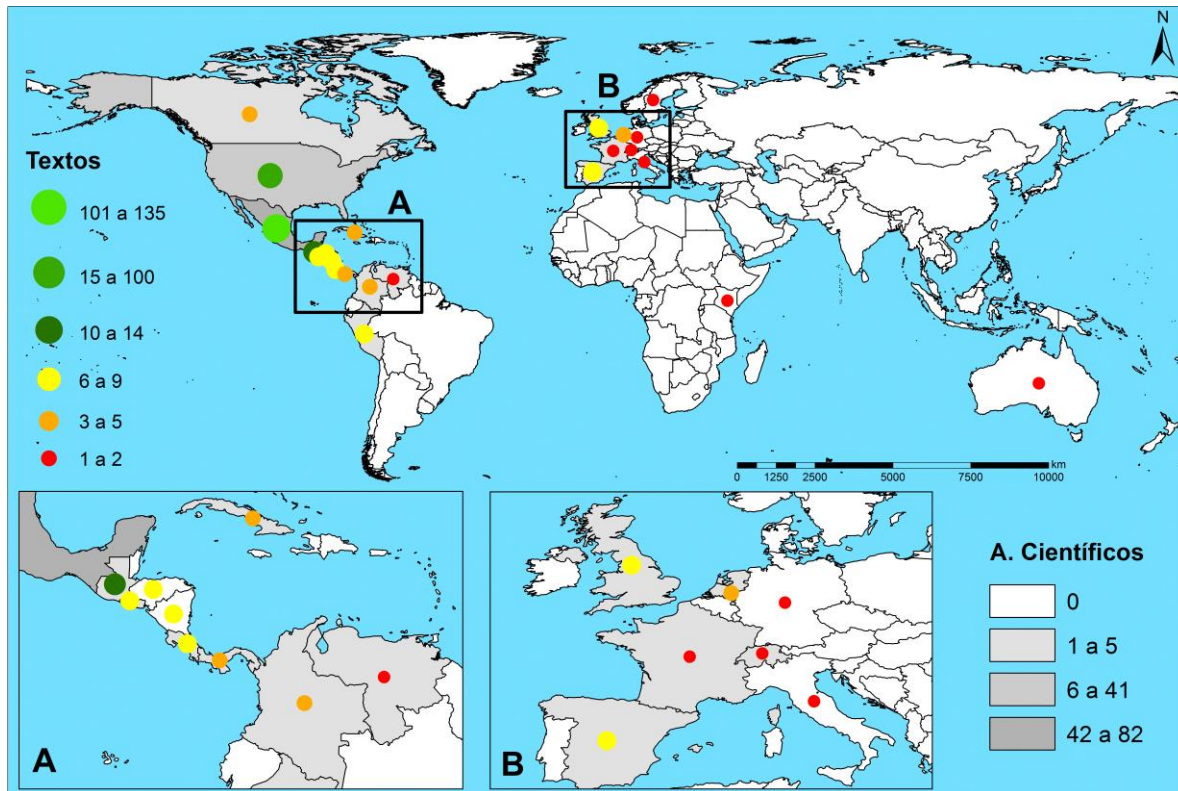


Figura 3. Ubicación espacial a nivel internacional de la productividad de textos de la especie *Brosimum alicastrum* de 1883 a 2020. A: Países de Latinoamérica; B: Países de Europa

En los 308 textos analizados se encontraron 251 primeros autores diferentes, entre primer autor y coautores sumaron 491 individuos diferentes. La red de autores y coautores (Figura 4) estuvo compuesta de 491 nodos (autores) y 411 aristas (vínculos). Los vínculos en un análisis de redes de coautoría son importantes porque es a través de ellos que un autor puede alcanzar ciertas ideas, conocimiento e información que socialmente es distante para él (Granovetter, 1973). La densidad de la red tuvo un valor de 0.002, lo que implica que para el tópic de *B. alicastrum* no existe mucha colaboración entre los autores. La densidad es un indicador en el análisis de redes de coautoría que implica que tanto los nodos interactúan (se vinculan) entre sí; matemáticamente es un valor dentro del intervalo [0 a 1], entre más cercano al 1 la interacción en la red es mayor (Aguilar-Gallegos *et al.*, 2016).

La baja vinculación de los autores en la red de investigación de *B. alicastrum* quedó de manifiesto al encontrarse una media de coautoría de 1.59 y una moda (139) de un autor

por texto; además 56 textos presentaron dos autores, y solo 23 textos fueron desarrollados por seis autores o más. También se encontraron 185 instituciones (de 308 textos) señaladas como la adscripción del primer autor. De acuerdo con Santillán-Fernández *et al.* (2021c) la baja vinculación entre los autores se explica por el nulo manejo silvícola de la especie, que limita el conocimiento sobre sus usos potenciales y promueve el desarrollo de investigación focalizada al ser un tópico emergente.

Las instituciones con mayor frecuencia (≥ 10 textos científicos) fueron instituciones de México, ubicadas al sur del país, donde se concentra la mayor abundancia de la especie (Santillán-Fernández *et al.*, 2021a): 1) Universidad Nacional Autónoma de México, 17 textos, principal autor Gomez_Pompa_A, que desarrolló trabajos sobre la descripción botánica de *B. alicastrum*; 2) Universidad Autónoma de Yucatán, 14, Sarmiento_Franco_L, sus trabajos describen usos potenciales de la especie en la alimentación animal; y 3) Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán, 13, Larque_Saavedra_FA, sus trabajos describen usos potenciales de la especie en la alimentación humana. Cabe desatacar que Larque_Saavedra_FA, fue el autor con más contribuciones con un total de 15 (cuatro como primer autor y 11 como coautor).

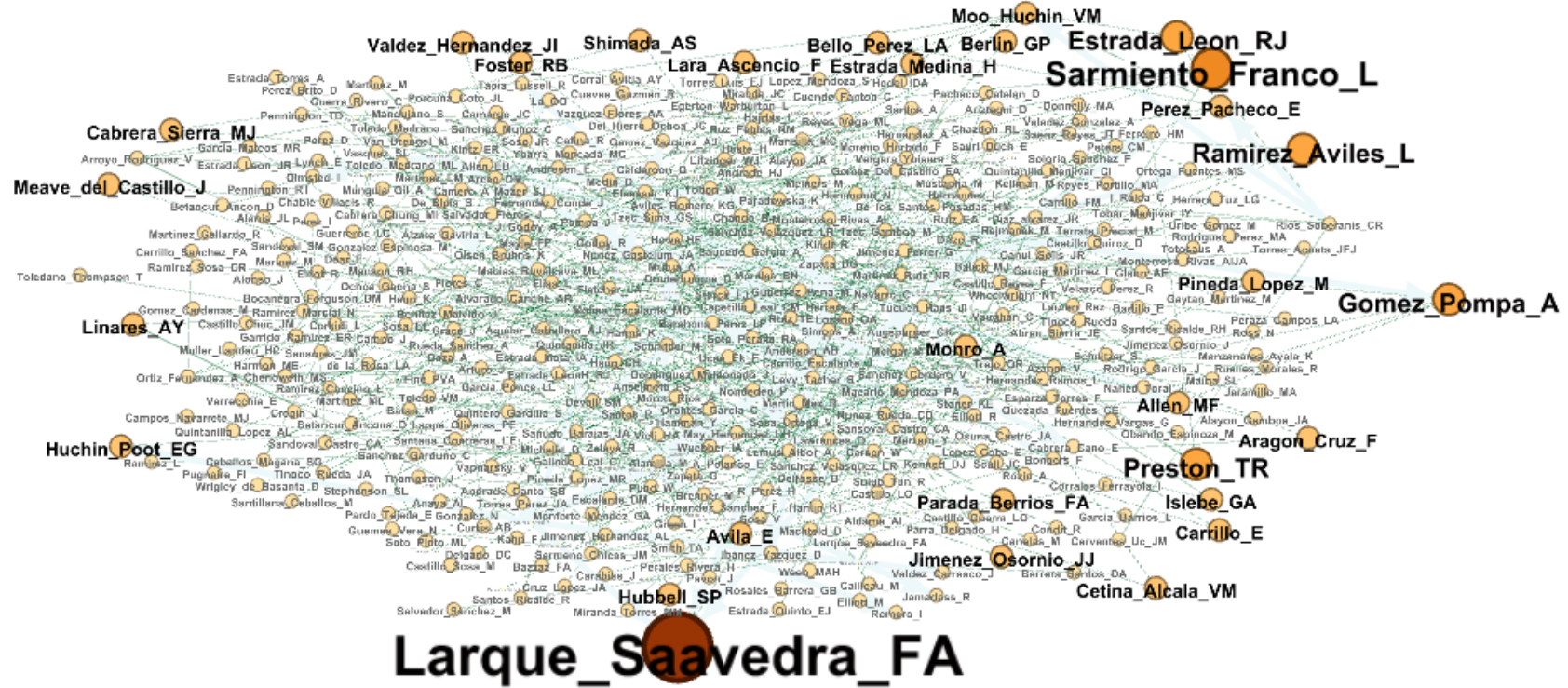


Figura 4. Red de autores y coautores a nivel mundial que han desarrollado trabajos donde la especie *Brosimum alicastrum* fue objeto de estudio de 1883 a 2020.

Nota: El tamaño del nodo corresponde con su productividad

1.3.2. Indicadores bibliométricos

De los 308 textos analizados el 49.68% (153) fueron artículos científicos que en conjunto sumaron el 89.95% (8655) del total de citas bibliográficas (Cuadro 1). De acuerdo con Bravo-Vinaja y Sáenz-Casado (2008) por la validación estadística de las investigaciones y la evaluación por pares que retroalimenta la crítica constructiva de la investigación, los artículos científicos tienen mayor probabilidad de ser tomados como referencia para generar nuevo conocimiento. En la Cuadro 1 se observa que el primer trabajo publicado sobre el tópic *B. alicastrum* fue un libro en 1883. A partir de 1935 se observó una producción constante de artículos científicos, en detrimento de textos como manuales e informes. Santillán-Fernández *et al.* (2021c) atribuye este fenómeno a la incipiente investigación que se desarrolla sobre la especie, que ha hecho que los investigadores busquen publicar sus hallazgos como artículos científicos para generar un mayor impacto de sus resultados.

En la Cuadro 1 también se observa que los trabajos con el mayor número de citas bibliográficas por tipo de texto, se publicaron en el idioma inglés. De acuerdo con Li y Zhao (2015) la publicación de textos científicos en un idioma diferente al inglés limita el número de citas bibliográficas al ser el idioma inglés el adoptado como universal por la comunidad científica. Se destaca el hecho de que ninguno de los trabajos más citados por tipo de texto fue desarrollado por investigadores de México, donde se distribuye ampliamente y es nativa la especie *B. alicastrum* (Peters y Pardo-Tejeda, 1982). Santillán-Fernández *et al.* (2021b) encontraron que la poca relevancia de la investigación en México (medida por el número de citas) se debe en su mayoría a la publicación de las investigaciones en el idioma español.

De los trabajos con el mayor número de citas bibliográficas por tipo de texto (Cuadro 1), se encontró que el artículo científico (532 citas bibliográficas) corresponde a una investigación donde se describen las bondades de la especie *B. alicastrum* para la reforestación de espacios degradados. Para el caso del manual (343) se describen metodologías sobre la propagación sexual de la especie; y respecto a la Tesis Doctoral (158) se abordan usos potenciales de la especie en la alimentación animal y humana. Vergara-Yoisura *et al.* (2014) encontraron que existe un amplio margen de acción para

desarrollar investigación sobre la especie *B. alicastrum* sobre todo en temas de manejo forestal, debido a que en la actualidad la distribución de la especie es de manera natural con prácticamente nulo manejo silvícola.

Los temas de investigación donde mayor conocimiento se ha desarrollado respecto a la especie *B. alicastrum* fueron ecología (18.51%, 57 textos), forestal-reforestación (15.26%, 47), botánica (13.31%, 41), alimentación-animal (12.01%, 37), alimentación-humana (11.04%, 34) y usos potenciales (11.04%, 34) (Tabla 2). Estos resultados coinciden con lo reportado por Santillán-Fernández *et al.* (2021c), quienes encontraron que los temas relacionados con la ecología y botánica de la especie han sido los más desarrollados en virtud de su incipiente manejo forestal.

Sin embargo, al analizar la temporalidad de las investigaciones (Cuadro 2), se encontró que los temas asociados a la alimentación animal y humana, así como la descripción de usos potenciales en medicina y como combustible, fueron de los primeros temas de investigación desarrollados (1883-2020); este hecho se explica por la influencia que tuvo como alimento *B. alicastrum* en el florecimiento de la cultura Maya que se asentó en el sureste de México (Vergara-Yoisura *et al.*, 2014). Por el contrario, los tópicos sobre silvicultura y vivero resultaron ser las áreas de investigación más recientes en desarrollar (1987-2018), que de acuerdo con Santillán-Fernández *et al.* (2021c) se presentan como áreas de oportunidad para generar nuevo conocimiento sobre el manejo forestal de la especie.

Cuadro 1. Frecuencia e indicadores bibliométricos de los trabajos más citados por tipo de texto donde la especie *Brosimum alicastrum* fue objeto de estudio de 1883 a 2020.

Categoría	Frecuencia		Citas		Periodo	Trabajo más citado					
	Número	%	Número	%		Primer Autor	Año	Idioma	Institución primer autor	País	Citas
Artículo Científico	153	49.68	8655	89.95	1935-2020	Padilla and Pugnare (2006)	2006	Ingles	Consejo Superior de Investigaciones	de España	582
Manual Libro	12	3.90	343	3.56	1970-2010	Peters (1994)	1994	Ingles	New York Botanic Garden	USA	343
Libro	18	5.84	214	2.22	1883-2014	Langman (2018)	1975	Ingles	National Academy of sciences	USA	99
Tesis Doctorado	6	1.95	193	2.01	1989-2009	Zahawi (2003)	2006	Ingles	University of Illinois	USA	158
Tesis Maestría	10	3.25	118	1.23	1968-2015	Puleston (1968)	1968	Ingles	University of Pennsylvania	USA	96
Informes	41	13.31	76	0.79	1984-2016	Benavides (1999)	1999	Español	FAO	Costa Rica	74
Trabajos Difusión	35	11.36	21	0.22	1945-2014	Orwa <i>et al.</i> (2009)	2009	Inglés	World Agroforestry Centre	Kenia	9
Memorias Congreso	6	1.95	0	0.00	2006-2015	No definida	-----	-----	-----	-----	----
Tesis Licenciatura	27	8.77	2	0.02	1949-2018	Turcios and Castañeda (2010)	2010	Español	Escuela Agrícola Panamericana	Honduras	2
Total	308	100.0	9622	100.0							

Cuadro 2. Temporalidad y frecuencia por tipo de texto y área de investigación de los trabajos donde la especie *Brosimum alicastrum* fue objeto de estudio de 1883 a 2020.

Categoría	Ecología	Botánica	Etnografía	Alimentación		Usos Potenciales	Desarrollo Rural	Forestal				Total	
				Humana	Animal			Reforestación	Silvicultura	Vivero	Otros		
				1962-2019	1945-2020			1971-2017	1935-2019	1949-2020	1883-2019	1979-2016	1970-2020
Artículo Científico	35	23	9	10	24	13	3	20	8	5	3	153	49.68
Informes	5	3	0	7	4	1	8	12	1	0	0	41	13.31
Libro	3	3	0	3	0	6	0	1	1	0	1	18	5.84
Manual	2	3	0	0	0	0	1	6	0	0	0	12	3.9
Memorias Congreso	1	0	0	0	1	0	0	3	1	0	0	6	1.95
Tesis Doctorado	2	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	6	1.95
Tesis Licenciatura	2	2	0	7	5	5	2	1	1	2	0	27	8.77
Tesis Maestría	1	2	0	0	3	2	1	0	1	0	0	10	3.25

Categoría	Ecología	Botánica	Etnografía	Alimentación		Usos Potenciales	Desarrollo Rural	Forestal				Total	
				Humana	Animal			Reforestación	Silvicultura	Vivero	Otros	Número	%
				1935-2019	1949-2020			1883-2019	1979-2016	1970-2020	1987-2018		
Trabajos	6	4	2	7	0	7	2	4	2	0	1	35	11.3
Difusión													6
Total (Número)	57	41	12	34	37	34	18	47	16	7	5	308	
Total (%)	18.51	13.31	3.91	11.04	12.01	11.04	5.84	15.26	5.19	2.27	1.62		100

1.3.3. Artículos científicos

De los 308 textos analizados, 153 fueron artículos científicos, que se publicaron en 97 revistas científicas. El 28.76% de los artículos científicos (44) se concentraron en 10 revistas científicas, que además contabilizaron el 30.97% (2681) de las citas bibliográficas para artículos científicos (Cuadro 3). Entre estas 10 principales revistas, 9 fueron de países americanos: México (4), USA (4), y Venezuela (1). Para el caso de las revistas de México y Venezuela, en su mayoría publicaron en español y no tuvieron factor de impacto en JCR o un factor bajo que las ubicó en las categorías Q3 y Q4. Las revistas con el mayor número de citas bibliográficas publicaron en inglés y registraron factores de impacto en JCR superiores a 1, lo que les permitió ubicarse en categorías Q1 y Q2 (WoS, 2020).

En la Cuadro 3 se puede observar que en las revistas de países latinoamericanos se han publicado temas asociados a tópicos forestales y pecuarios, y en revistas de países angloparlantes temas relacionados con la ecología de la especie. Santillán-Fernández *et al.* (2020) encontraron que la investigación actual sobre *B. alicastrum* se centra en evaluar sus propiedades y usos potenciales, por lo que el desarrollo de investigación en tópicos forestales constituye un área de oportunidad (Santillán-Fernández *et al.* (2021c), para garantizar la materia prima de una agroindustria pecuaria emergente en torno a *B. alicastrum* por su alto potencial en la alimentación de especies porcina, bovina, ovina, avícola y acuícola (Rojas- Schroeder *et al.*, 2017) en el marco de la seguridad alimentaria (Ramírez-Sánchez *et al.*, 2017) y cambio climático (Santillán-Fernández *et al.*, 2021a).

Entre los 10 trabajos más citados sobre la especie *B. alicastrum*, 7 pertenecen a un primer autor cuya institución de adscripción se localiza en USA y solo un trabajo corresponde a un investigador en Latinoamérica (Panamá); todos han sido publicados en inglés y en revistas de origen anglosajón con factores de impacto superiores a 2 (Q1 y Q2) (WoS, 2020) (Cuadro 4). Sin embargo, destaca el hecho de que las áreas de estudio se ubicaron espacialmente en Latinoamérica: México (4), Panamá (2), Guatemala (1) y Costa Rica (1), donde la especie presenta amplia distribución natural (Peters y Pardo-Tejeda, 1982)

De acuerdo con Gersbach y Schneider (2015) países con economías consolidadas como la de USA, invierten más en sus centros de investigación, lo que les permite desarrollar investigaciones fuera de sus fronteras y lograr un mayor desarrollo tecnológico; a diferencia de las economías en subdesarrollo como las Latinoamericanas donde la inversión en investigación es menor. Por lo que el fortalecimiento de redes de coautoría internacionales constituye una opción viable para generar nuevo conocimiento en regiones de interés con inversiones externas (Aguado-López *et al.*, 2009).

Cuadro 3. Indicadores bibliométricos de las principales revistas que publicaron artículos científicos a nivel internacional donde la especie *Brosimum alicastrum* fue el principal tema de estudio de 1883 a 2020, ordenadas de acuerdo al número de artículos publicados

Nombre	País	Institución	WoS (2020)	Tema	Idioma	Citas		
						Artículos Número	Número	%
Journal of Tropical Ecology	Inglaterra	Cambridge University Press	1.163 (Q4)	Ecología	Inglés	6	491	5.67
Biotrópica	USA	Association of Tropical Biology and Conservation	2.091 (Q2)	Ecología	Inglés	5	619	7.15
Oecología	USA	International Association for Ecology	2.654 (Q2)	Ecología	Inglés	5	610	7.05
Acta Botánica Mexicana	México	Instituto de Ecología	0.35 (Q4)	Botánica	Español	5	182	2.10
Tropical and Subtropical Agroecosystems	México	Universidad Autónoma de Yucatán	0.16 (Q4)	Forestal	Español	5	12	0.14
American Antiquity	USA	Society for American Archaeology	1.988 (Q1)	Arqueología	Inglés	4	207	2.39
RCSCFA (1)	México	Universidad Autónoma Chapingo	0.441 (Q3)	Forestal	/Inglés	4	25	0.29
Revista Mexicana de Ciencias Forestales	México	Ecological Society of INIFAP (2)	No tiene	Forestal	/Inglés	4	20	0.23
Ecological Applications	USA	America. Instituto Nacional de	4.248 (Q1)	Ecología	Inglés	3	469	5.42
Zootecnia tropical	Venezuela	Investigaciones Agrícolas	No tiene	Pecuario	/Inglés	3	46	0.53
Otras (87)						109	5974	69.02

*2018; (1): RCSCFA = Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente; (2): INIFAP = Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pesqueras.

Cuadro 4. Indicadores bibliométricos de los principales textos donde la especie *Brosimum alicastrum* fue tema de estudio de 1883 a 2020, ordenados de acuerdo al número citas bibliográficas.

Artículo Científico					País	
Referencia	Tema	Revista	WoS (2020)	Citas	Primer Autor	Área de estudio
Padilla and Pugnaire (2006)	Forestal-Reforestación	Frontiers in Ecology and the Environment	9.295 (Q1)	582	España	Review
Bongers <i>et al.</i> (1988)	Botánica	Journal of Vegetation Science	2.698 (Q1)	408	Holanda	México
Peters (1994)	Forestal-Silvicultura			343	USA	No definida
Montgomery and Chazdon (2002)	Forestal-Vivero	Oecología	2.654 (Q2)	352	USA	Costa Rica
Condit <i>et al.</i> (1992)	Ecología	American Naturalist	3.855 (Q1)	332	USA	Panamá
Atran <i>et al.</i> (2002)	Etnografía	Current Anthropology	2.037 (Q1)	333	USA	Guatemala
Whigham <i>et al.</i> (1991)	Ecología	Biotropica	2.091 (Q2)	255	USA	México
Wright <i>et al.</i> (2005)	Forestal-Semilla	Ecology	4.733 (Q1)	207	Panamá	Panamá
Allen <i>et al.</i> (2003)	Forestal-Reforestación	Ecological Applications	4.248 (Q1)	171	USA	México
Read and Lawrence (2003)	Ecología	Ecological Applications	4.248 (Q1)	170	USA	México

**El trabajo corresponde a un Manual

1.3.4. Producción científica en México sobre el tema de *B. alicastrum*

De 1949 a 2020 los investigadores mexicanos publicaron 135 textos científicos sobre el tópico *B. alicastrum*. Esta productividad significó el 43.83% del total de textos encontrados (308), que coincide con el hecho de que en México se localiza la mayor riqueza de la especie en Latinoamérica (Santillán-Fernández *et al.*, 2021a). Para los 135 textos se registraron 1763 citas bibliográficas lo que representó el 18.32% del total de citas (9622), 44 textos no presentaron citas bibliográficas. El 69.63% de los textos (94) fueron publicados en idioma español y el restante 30.37% (41) en inglés. El bajo nivel (medido por el número de citas bibliográficas) de la investigación que se desarrolla en México, ha sido documentado por López-Leyva (2011), Martínez-Santiago *et al.* (2017) y Santillán-Fernández *et al.* (2021b) quienes encontraron que elementos como el idioma de publicación (español), y la prioridad en la publicación de trabajos cuyos autores pertenecen a la misma institución que edita a la revista, restringen la crítica constructiva de la revisión por pares y reducen la visibilidad de las publicaciones.

De los 135 textos, 72 (53.33%) se desarrollaron en 8 de 41 instituciones, tomando como referencia la institución de adscripción del primer autor. El 60.74% (82) fueron artículos científicos y el 39.26% (53) otro tipo de textos. Las instituciones con mayor productividad fueron: UNAM (16 trabajos), UADY (13), CICY (13), INECOL (7), UdeG (6), UV_Tuxpan (5), ColPos_Ver (5) y ColPos_Camp (5) (Cuadro 5). De acuerdo con CONACYT (2021) estas instituciones han fortalecido sus programas de posgrado en ciencias biológicas y agrosilvopastoriles en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad (PNCP), lo que les ha permitido tomar iniciativas para el desarrollo de investigación en torno a la especie *B. alicastrum*.

Cuadro 5. Principales instituciones de investigación en México que publicaron textos científicos sobre la especie *B. alicastrum*.

Institución	Textos			Citas bibliográficas	
	Artículo científico	Otros	Total	Número	%
UNAM	11	5	16	636	36.07
UADY	9	6	15	145	8.22
CICY	8	5	13	174	9.87
INECOL	7	0	7	202	11.46
UdeG	1	5	6	59	3.35
UV_Tuxpan	3	2	5	108	6.13
ColPos_Ver	5	0	5	21	1.19
ColPos_Camp	5	0	5	16	0.91
Otras (33)	33	30	63	402	22.80
Total (41)	82	53	135	1763	100.00

La distribución espacial de las instituciones con productividad de textos científicos sobre la especie *B. alicastrum* (Figura 5) permitió establecer que la investigación sobre este tópico se localiza en el sureste de México, y coincide con el área de distribución natural de la especie. A diferencia de tópicos de investigación como maíz transgénico (Santillán-Fernández *et al.*, 2021b), estimación de biomasa de especies forestales en bosque (Vargas-Larreta *et al.*, 2017) y modelación forestal (Martínez-Santiago *et al.*, 2017), donde las instituciones de investigación no se ubicaron espacialmente en las áreas donde se desarrollaron los estudios, se encontró que este desfase dificultó la transferencia de tecnología y la calidad de las investigaciones. De acuerdo con Santillán-Fernández *et al.* (2021c) para el caso del *B. alicastrum* el hecho de que las instituciones se ubiquen en el área de distribución de la especie puede ser un factor que éxito para que la generación de nuevo conocimiento tenga mayor impacto.

La representación espacial también permitió diferenciar los temas de especialización por institución de investigación. Vergara-Yoisura *et al.* (2014) consideran que con la creación del Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán (1979) se potencializó el desarrollo de investigación en torno a la especie *B. alicastrum*, lo que permitió desarrollar áreas

respecto a sus usos potenciales en la alimentación animal (UADY, UV_Tuxpan, ColPos_Ver y ColPos_Camp) y humana (CICY), que complemento la investigación sobre la botánica de la especie (UNAM). Rojas- Schroeder *et al.* (2017) y Ramírez-Sánchez *et al.* (2017) consideran que en el marco de la seguridad alimentaria las instituciones del sureste de México han tenido que desarrollar investigación sobre los recursos vegetales locales con la finalidad de encontrar alternativas de alimentación animal y humana, y una de las especies con mayor potencial es el *B. alicastrum*.

Sin embargo, Santillán-Fernández *et al.* (2021c) consideran que el desarrollo de investigación en torno a la especie *B. alicastrum* para los tópicos de botánica, y usos en la alimentación animal y humanan, debe complementarse con la generación de nuevo conocimiento sobre la reproducción sexual y asexual de la especie, manejo en vivero, silvicultura y desarrollo de plantaciones, con la finalidad de establecer una agroindustria de alimentos donde la materia prima *B. alicastrum* se garantice.

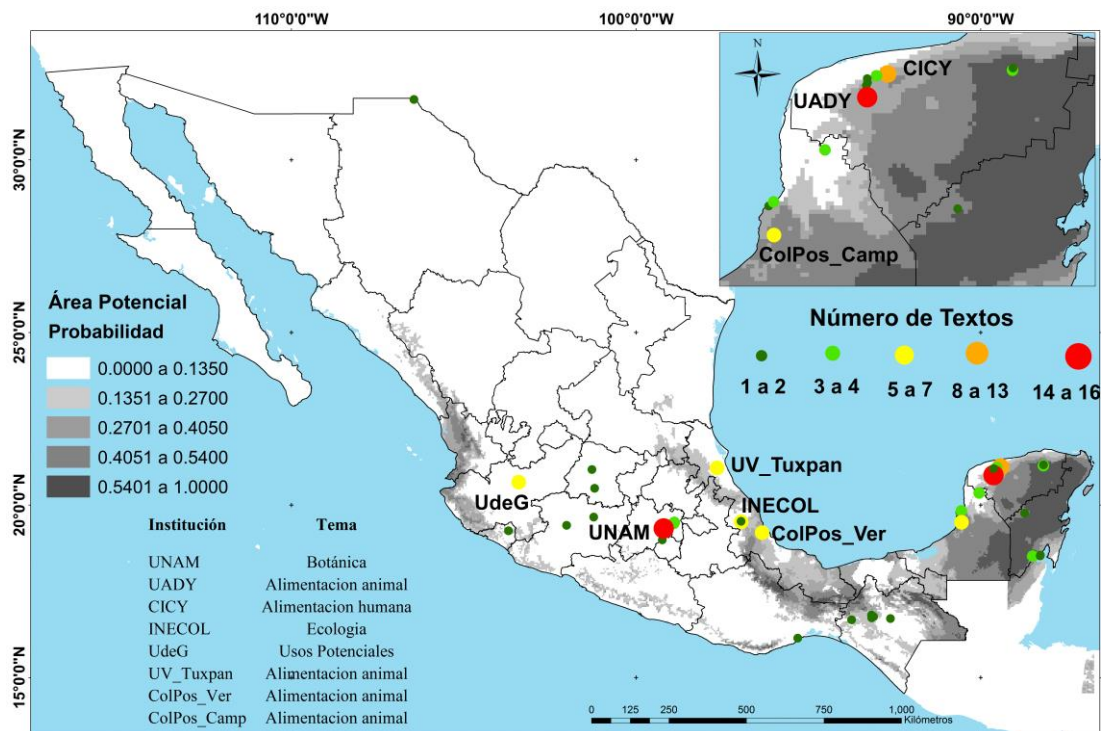


Figura 5. Relación espacial entre la probabilidad de distribución natural potencial y las instituciones académicas y de investigación en México que han desarrollado trabajos de *Brosimum alicastrum* desde 1883 hasta 2020.

Fuente: Santillán-Fernández *et al.* (2021a)

1.4. CONCLUSIÓN

La evolución espacio-temporal de la producción científica mostró un crecimiento exponencial de textos científicos a nivel mundial donde la especie forestal *B. alicastrum* fue tema de investigación de 1883 a 2020. La principal productividad se concentró en países de América donde México (43.83%, 135 artículos) y USA (25.65%, 79) dominaron. Sin embargo, a diferencia de las investigaciones desarrolladas en USA, las de México no tuvieron un impacto relevante (medido por el número de citas bibliográficas) como resultado de la publicación en revistas editadas en español, cuando las revistas de impacto están lideradas por países anglosajones, en inglés. Los temas de mayor relevancia fueron los relacionados con la ecología (18.51%), reforestación (15.26%), botánica (13.31%) y usos en la alimentación-animal (12.01%), y alimentación-humana (11.04%). Lo que evidenció un vacío de investigación en temas relacionados con la silvicultura de la especie con especial relevancia en su propagación, manejo en vivero y plantaciones forestales. Para el caso de México se encontró que la investigación sobre este tópico se focalizó en el sureste de México, y estuvo liderada por la UNAM en temas de botánica, UADY (alimentación animal) y CICY (alimentación humana). La ubicación espacial de las principales instituciones de investigación en México coincidió con el área de distribución natural de la especie, lo que puede ser un factor de éxito para que la generación de nuevo conocimiento tenga mayor impacto, al facilitar la transferencia de tecnología, sobre todo si se considera que la investigación en torno al tópico de *B. alicastrum* es incipiente.

CAPÍTULO II. EFECTO DE LAS MICORRIZAS Y FERTILIZACIÓN EN LA CALIDAD DE PLÁNTULA EN VIVERO DE *Brosimum alicastrum* Swartz

2.1. INTRODUCCIÓN

Brosimum alicastrum Swartz, conocido comúnmente como Ramón, ojite, ojuch, mojú u oxx (vocablo Maya), es un árbol de la familia de las *Moraceae*, con amplia distribución en Mesoamérica, de donde se considera es endémico (Vergara-Yoisura *et al.* 2014). Su semilla, follaje, látex y madera tienen un alto potencial económico, tanto para alimentación (animal y humana) como para usos medicinales y culturales (Ramírez-Sánchez *et al.*, 2017). Sin embargo, pese a esta importancia, la especie se distribuye mayormente de manera silvestre en selvas perennifolias y caducifolias, con prácticamente nulo manejo silvícola (Santillán-Fernández *et al.*, 2021c).

B. alicastrum Sw. fue incluido en 2019, como una especie prioritaria en el Programa Federal de México denominado Sembrando Vida que coordina la Comisión Nacional Forestal, y cuyo objetivo es propagar la especie con fines de reforestación (CONAFOR, 2021). Este hecho aunado a la importancia del árbol Ramón como un recurso local de amplio uso para la alimentación animal y humana (Ramírez-Sánchez *et al.*, 2017), incrementó la demanda de sus ejemplares (planta y fruto), y con ello la necesidad de generar investigación respecto a la silvicultura de la especie (Santillán-Fernández *et al.*, 2021c).

En el establecimiento de plantaciones, se requieren árboles con características fenotípicas y genotípicas sobresalientes, por lo que el método de propagación para la obtención del germoplasma es clave para un buen manejo silvícola (Hernández-González *et al.*, 2015). La propagación puede ser de manera sexual (semilla) o asexual (estaca, acodo, o injerto); sin embargo, en la reproducción sexual de los árboles, los progenitores pueden heredar características deseables, así como indeseables (Molina-Escalante *et al.*, 2015). Para mejorar la calidad de plántula, el manejo en vivero es primordial, desde la selección de la semilla, sustratos, fertilización y riego (Sáenz-Reyes *et al.*, 2014).

La combinación de factores como temperatura, exposición a horas luz, riego y nutrición inciden de manera directa en el crecimiento de las plantas, para el caso de la producción de plántulas en vivero, los factores donde más se puede incidir para mejorar su calidad son el riego y nutrición (Rueda-Sánchez *et al.*, 2014). Vera (2006) considera que, aunque el riego es esencial, una mala nutrición en las plántulas provoca individuos de baja calidad; al respecto Ramírez-Gómez *et al.* (2018) encontraron que en especies forestales tropicales la calidad de plántula asociada a la nutrición con hongos micorrícicos mejora de manera considerable que cuando se emplean fertilizantes sin la asociación con micorrizas.

Los estudios sobre manejo de plántula en vivero para *B. alicastrum* son escasos (Santillán-Fernández *et al.*, 2021c); y los que se han desarrollado se han centrado en evaluar la calidad de la plántula en función de los sustratos (Pérez de la Cruz *et al.*, 2012), fertilización (Rueda-Sánchez *et al.*, 2014), y contenedores (Santillán-Fernández *et al.*, 2021c). La información que se ha generado en torno al efecto de las micorrizas en la calidad de plántula para el árbol Ramon es casi nula, aun cuando se ha comprobado su eficacia en especies forestales de clima templado (Castillo-Guevara *et al.*, 2012) y tropical (Ballina-Gómez *et al.*, 2017).

Al proceso de simbiosis entre determinados tipos de hongos y las raíces de las plantas se le denomina micorriza; por su morfología y estructura, los hongos formadores de micorrizas se clasifican en: ectomicorrizas y endomicorrizas (Galindo-Flores *et al.*, 2014). Para el caso de las ectomicorrizas son asociaciones que no penetran en el interior de las células de la raíz, sino que se ubican sobre y entre las separaciones de éstas (Carrera-Nieva y López-Ríos, 2004). Mientras que las endomicorrizas se caracterizan por colonizar intracelularmente el córtex radical, y pueden ser de seis tipos en función del tipo de hongo: ectendomicorrizas, arbutoides, monotropoides, ericoides, orquidioides, y arbusculares (Ramírez-Gómez *et al.*, 2018)).

En la evaluación de calidad de plántula en vivero, un error usual es comparar el efecto de los tratamientos empelados en cada una de las variables evaluadas ya sea para la parte aérea o radicular de la plántula (Rueda-Sánchez *et al.*, 2014), debido a que la parte aérea de la plántula tiende a desarrollarse más rápido que su sistema radicular, que es

quien finalmente dará soporte en el momento de su plantación (Negreros-Castillo *et al.*, 2010). Para evitar este sesgo Sáenz-Reyes *et al.* (2014) proponen el empleo de variables e indicadores morfológicos que asocian la parte aérea de la plántula con su sistema radicular, como la altura, diámetro basal, e índices como el de robustez, Dickson, y lignificación.

Sáenz-Reyes *et al.* (2014) definen la calidad de plántula como la capacidad que tienen los individuos para desarrollarse en las condiciones climáticas y edáficas del sitio de plantación; esta capacidad responde a la genética del germoplasma y a las técnicas de propagación. Bajo este contexto el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de las micorrizas y fertilización en la calidad de plántula de *B. alicastrum* producida mediante semilla en vivero, para determinar que factor: micorriza, fertilización o su asociación inciden en la calidad de plántula; para ello se empleó un diseño experimental con arreglo factorial en bloques al azar, y se construyeron indicadores morfológicos que relacionan la proporción de la parte aérea de la plántula con su sistema radicular.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1. Área de estudio

El trabajo se realizó en un vivero forestal ubicado en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, campus Campeche (ColPos-Campeche) en el municipio de Champotón, estado de Campeche, México. Las semillas de *B. alicastrum* fueron recolectadas de diferentes arboles de la localidad de Hopelchén al norte del estado (Figura 6). La región se caracteriza por una cobertura de selva media subperennifolia y selva alta perennifolia, con suelos arcillosos, precipitaciones promedio anual de 600 a 4000 mm, con épocas de estiaje de tres a siete meses, temperatura media anual de 18 a 27 ° C y altitudes de 20 a 1000 msnm. Las principales actividades económicas de esta región son la ganadería y el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), y chihua (*Cucurbita argyrosperma* H.) (INEGI, 2021). En el periodo de estiaje el principal alimento para el ganado es el árbol Ramón (Góngora-Chin *et al.*, 2016).

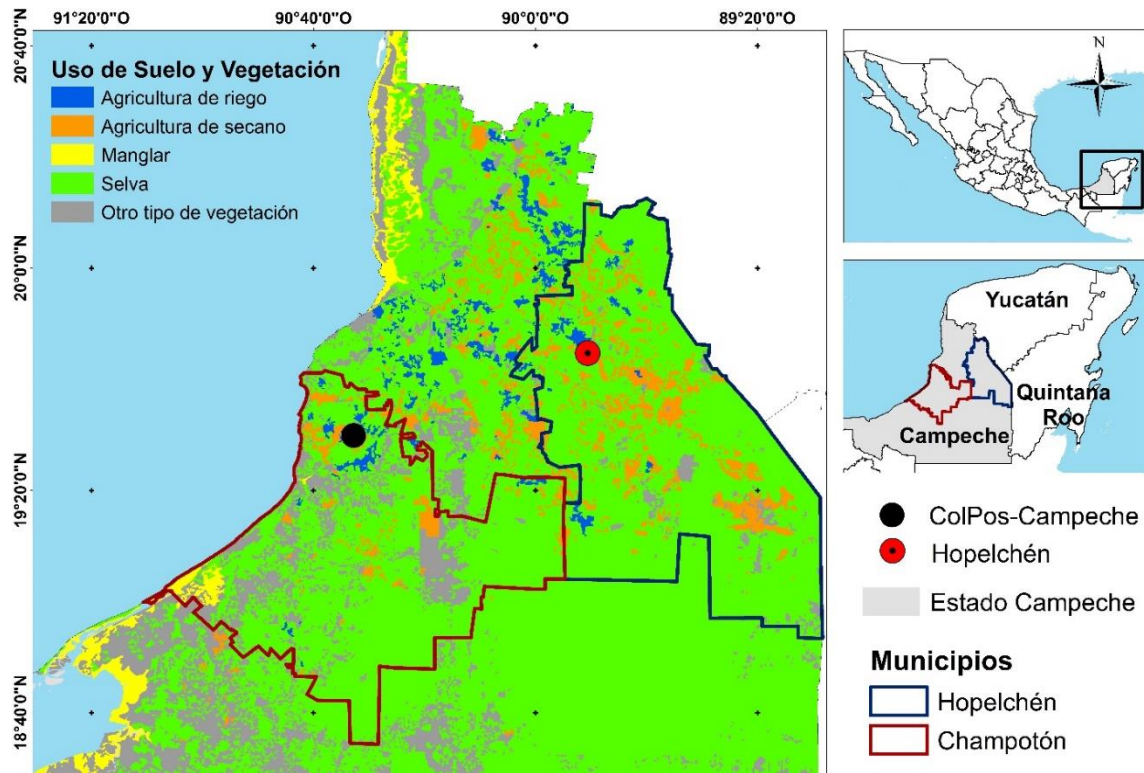


Figura 6. Ubicación espacial de la localidad de recolecta de semilla de *B. alicastrum* y del experimento para evaluar el efecto de las micorrizas y fertilización en la calidad de plántula en vivero.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de INEGI (2021).

2.2.2. Pruebas de viabilidad de las semillas de *B. alicastrum*

En junio de 2021, se recolectó semilla de *B. alicastrum* en la localidad de Hopelchén. Para la recolecta de semilla se siguió la metodología descrita por Vallejos *et al.* (2010), se seleccionaron los árboles con las mejores características fenotípicas (dasométricas) con una distancia mínima entre árboles seleccionados de 100 m. El germoplasma se almacenó en bolsas esterilizadas de plástico que fueron trasladadas a las instalaciones del Colegio de Postgraduados, campus Campeche.

Para determinar el potencial de germinación de las semillas, se seleccionaron al azar 4 réplicas de 6 semillas por replica, que fueron sometidas a una prueba de viabilidad con cloruro de tetrazolio® al 0.5%, conforme la metodología descrita por Orantes-García *et al.* (2013). Una vez determinado el potencial de germinación, se pusieron a germinar 400 semillas en charolas de almacigo, el sustrato empleado fué arena previamente

esterilizada. Se germinaron las semillas para garantizar un diseño experimental balanceado.

2.2.3. Diseño experimental

Para evaluar el efecto de las micorrizas y fertilización en la calidad de plantula en vivero de *B. alicastrum*, en julio de 2021 se estableció un diseño experimental en bloques al azar con arreglo factorial. Los factores analizados fueron: 1) Tipo de Micorriza (a 5 niveles): Comercial, Hopelchén, Conkal, Ramón, y Sin Micorriza; y 2) Fertilizante (a 2 niveles): Osmocote®, y Bio2®. Las propiedades fisicoquímicas de cada uno de los factores se especifican en el Cuadro 6. Adicionalmente se evaluó un testigo sin micorriza y sin fertilizante. La combinación de los niveles de los factores evaluados más el testigo (SF: Sin Fertilizante y SM: Sin Micorriza), dio como resultado 11 tratamientos, que fueron distribuidos completamente al azar en tres bloques con 10 repeticiones por tratamiento por bloque, con un total de 330 plántulas evaluadas.

Para su evaluación en vivero, las plántulas germinadas mediante semilla en arena, fueron extraídas cuando alcanzaron su segunda hoja verdadera, se removió la arena de tal manera que no se dañara la raíz. Todas las unidades experimentales se trasplantaron en tubetes de 310 mL con un sustrato compuesto por 60% peat-moss, 20% vermiculita, y 20% perlita; que se caracteriza por un pH ligeramente ácido con alta porosidad y capacidad de retención de humedad (Santillán-Fernández *et al.*, 2021c). Para los 11 tratamientos, se aplicó un riego manual cada tres días a las unidades experimentales, conforme la retención de humedad del sustrato utilizado (Orantes-García *et al.*, 2013).

Cuadro 6. Propiedades fisicoquímicas de las micorrizas y fertilizantes empleados para evaluar su efecto en la calidad de plántula en vivero de *Brosimum alicastrum* Swartz

	Factor	Compuesto	Tipo	pH	Consistencia
Micorrizas	Comercial (Nombre de venta Tecmyc®)	Glomus fasciculatum, Glomus constrictum, Glomus tortuosum, Glomus geosporum, Acaulospora scrobiculata, Gigaspora margarita	Endomicorrizas /Arbuscular	6.5-7.5	Polvo
	Hopelchén	Suilus, Rhizopogon, Cenococcuym, Entrophospora, Thelefora, Acaulospora	Ectomicorrizas	5.5-6.5	Líquido
	Conkal	Glomus intraradices	Endomicorrizas /Arbuscular	6.5-7.5	Polvo
	Ramón	Glomus intraradices, Glomus sinuosum	Endomicorrizas /Arbuscular	6.5-7.5	Líquido
Fertilizantes	Osmocote®	Nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio	Mineral	6.5-7.5	Granulado
	Bio2®	Ácidos carboxílicos, oxiácidos orgánicos naturales y complejo orgánico fúlvico	Orgánico	6.5-7.5	Polvo

Aplicación: Para el caso de las micorrizas se añadieron los inóculos, poniéndolos en contacto directo con la raíz de la plántula. El fertilizante Osmocote® se aplicó mezclado con el sustrato; y Bio2® se aplicó en el primer riego.

Cantidad por plántula: Para la aplicación de los inóculos en estado líquido se utilizó una jeringa graduada de 10 mL por plántula; en el caso de los inóculos en estado sólido se pesaron 5 gr por plántula en una balanza analítica; de igual forma para el fertilizante Osmocote® se aplicaron 5 gr por plántula, y en el caso de Bio2® se diluyeron 10 gr en

250 mL por plántula. Las micorrizas de *B. alicastrum* se obtuvieron después de moler en un mortero raíces frescas con parte del suelo de donde fueron extraídas, para después diluirlas en agua durante 24 horas, la solución resultante se aplicó a las plántulas.

2.2.4. Análisis estadístico

El diseño experimental propuesto se evaluó durante 4 meses de julio a octubre de 2021. Con un análisis de varianza y pruebas de medias por Tukey ($\alpha = 0.05$) se establecieron las diferencias estadísticas del efecto que tuvieron los factores: micorriza, fertilizante, y la interacción micorriza*fertilizante en la calidad de plántula en vivero de *B. alicastrum*, tanto para variables de la parte aérea de la plántula como para variables de la raíz.

Las variables analizadas de la parte aérea de la plántula fueron: altura (abreviada como H, medida en cm), diámetro basal (D, mm), número de hojas (HO), biomasa en verde (PVB, hojas y tallo, gr) y biomasa en seco (PSB, gr). Para el caso de la raíz se evaluaron: longitud (LR, cm), diámetro del cuello de la raíz (DR, mm), peso en verde (PVR, gr), y peso en seco (PSR, gr). La biomasa seca de la plántula y raíz se obtuvo en una balanza analítica después de extraer el material vegetativo de una estufa con circulación de aire forzado a 70 °C durante 24 horas.

Mediante un análisis de correlación (Pearson, $\alpha = 0.05$) se estableció la asociación que guardan entre sí las variables de la parte aérea de la plántula con las variables de la raíz. Además, con la finalidad de agrupar aquellos tratamientos que tuvieron efectos similares en la calidad de plántula en vivero de *B. alicastrum*, se desarrolló un Análisis de Clúster (Dendograma: las diferencias entre los tratamientos fueron calculadas mediante el método de distancia Euclidiana y el agrupamiento por el método de Ward), y un Análisis de Componentes Principales (ACP, por el método basado en correlaciones).

Para los grupos formados por el Dendograma y ACP, se calcularon sus diferencias estadísticas por la prueba de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) y se representaron mediante diagramas de caja, tanto para las variables de la parte aérea de la plántula como para las de raíz. Los análisis estadísticos fueron desarrollados en el software estadístico de libre acceso R (R Project, 2021).

2.2.5. Índice de calidad de plántulas

Para determinar la calidad de plántula de *B. alicastrum* producida mediante semilla en vivero, se emplearon seis indicadores morfológicos y un indicador fisiológico (Cuadro 7), con la finalidad de evitar la selección de plántulas desproporcionadas y descartar ejemplares de menor altura, pero con mayor vigor. Los umbrales para diferenciar entre calidad de plántula alta, media y baja fueron construidos de acuerdo a lo propuesto para especies forestales tropicales por Rueda-Sánchez *et al.* (2012), Rueda-Sánchez *et al.* (2014), Sáenz-Reyes *et al.* (2014), y Santillán-Fernández *et al.* (2021c).

Cuadro 7. Indicadores morfológicos y fisiológicos para determinar la calidad de plántula de *Brosimum alicastrum* producida mediante semilla en vivero.

Indicador		Calidad		
Nombre	Tipo	Alta	Media	Baja
Altura (H, cm)	Morfológico	>25.0	15.0 a 24.9	<14.9
Diámetro basal (D, mm)	Morfológico	>4.0	2.5-3.9	<2.5
Índice de Robustez (IR)	Morfológico	<6.0	6.1-8.0	>8.0
Relación Altura: Longitud de Raíz (R H:LR)	Morfológico	≤2.0	2.1-2.5	>2.5
Relación Peso en Seco de la Biomasa: Peso en Seco de la Raíz (R PSB : PSR)	Morfológico	<2.0	2.1-2.5	>2.5
Índice de Calidad de Dickson (ICD)	Morfológico	≥0.50	0.49-0.20	<0.20
Índice de Lignina (IL, %)	Fisiológico	≥20.0	10.1-20.0	<10.0

2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.3.1. Pruebas de viabilidad de las semillas de *B. alicastrum*

El total de semillas (4 réplicas de 6 semillas por réplica) sometidas a la prueba de viabilidad con cloruro de tetrazolio® al 0.5% (CTT), se tiñeron de rojo por completo. De acuerdo a la metodología descrita por Orantes-García *et al.* (2013), cuando las células vivas del embrión de la semilla respiran activamente (tienen mayor probabilidad de germinación), la prueba de CTT las tiñe de color rojo, y en el caso de las células muertas conservan el color original del embrión; por lo que la intensidad en la tinción indica mayor probabilidad de germinación (Mancipe-Murillo *et al.*, 2018).

Sin embargo, a pesar de que las semillas presentaron un 100% en el potencial de germinación, de las 400 semillas que se pusieron a germinar en arena, solo 367 germinaron (91.75%) en un periodo de 8 a 10 días. Esto se explica por la propiedad recalcitrante de las semillas de *B. alicastrum* que son más propensas a perder viabilidad en los primeros 20 días después de su colecta (Magnitskiy y Plaza 2007). Por lo que para su manejo en vivero Mancipe-Murillo *et al.* (2018) recomiendan almacenar las semillas en temperaturas inferiores a los 5 °C para elongar su viabilidad.

2.3.2. Efecto de las micorrizas y fertilización en la calidad de plántula

Martínez *et al.* (2007) encontraron que la calidad de plántulas de especies forestales de climas templados fue significativamente mayor cuando se aplicó fertilizante y micorrizas en un mismo momento, que cuando se aplicaron por separado ambos factores. En nuestro caso, la interacción micorriza-fertilizante fue estadísticamente menos significativa en la calidad de plántula de *B. alicastrum* (Cuadro 8); esto se puede explicar de acuerdo con Pérez de la Cruz *et al.* (2012) y Hernández-González *et al.* (2015) a que *B. alicastrum* es una especie forestal tropical cuya calidad de plántula en vivero se ha asociado más al tipo de sustrato, por encima de la fertilización y riego.

Cuadro 8. Análisis de varianza para determinar el efecto de las micorrizas y fertilización en la calidad de plántula de *Brosimum alicastrum*, reproducidas mediante semilla en vivero

Planta	Variables	Fuentes de Variación					
		Micorriza		Fertilizante		Micorriza*Fertilizante	
		F-Valor	Pr > F	F-Valor	Pr > F	F-Valor	Pr > F
	Altura (cm)	74.37	<.0001*	41.15	<.0001*	7.01	<.0001*
	Diámetro tallo (mm)	76.59	<.0001*	3.21	0.0417*	1.78	0.1333
	Hojas (número)	37.82	<.0001*	18.6	<.0001*	5.69	0.0002*
Aerea	Biomasa verde (gr)	3.7	0.0111*	55.44	<.0001*	3.54	0.0138*
	Biomasa seco (gr)	9.73	<.0001*	38.37	<.0001*	5.53	0.0011*
	Longitud (cm)	2.16	0.089	0.21	0.8128	7.1	0.0002*
	Diámetro (mm)	7.24	0.0001*	3.48	0.0394*	0.2	0.9367
Raíz	Peso verde (gr)	8.91	<.0001*	8.36	0.0008*	1.58	0.1966
	Peso seco (gr)	11.07	<.0001*	3.44	0.0411*	0.62	0.6539

*Significativo al 5% ($\alpha = 0.05$).

Mediante la prueba de medias por Tukey ($\alpha = 0.05$) para determinar qué tipo de fertilizante, micorriza y su interacción, fueron los que proporcionaron las mejores características en vivero a las plántulas de *B. alicastrum* se encontró que para el caso del fertilizante, el Osmocote® presento las mejores medias tanto para las variables de la parte aérea de la plántula como para las de la raíz (Cuadro 9). Las medias evaluadas también resultaron mayores cuando no se aplicó fertilizante que cuando se aplicó el fertilizante orgánico Bio2®.

Respecto a las micorrizas se encontró que estadísticamente el efecto de los tratamientos que incluyeron micorrizas de Ramón, Comercial, Conkal y Sin Micorriza, fue similar en las variables evaluadas (Cuadro 10). Al analizar la interacción micorriza-fertilizante se encontró que los tratamientos donde se incorporó el fertilizante Osmocote® presentaron estadísticamente las mejores medias, excepto cuando se asoció con micorrizas de Hopelchén (Cuadro 11). Las medias de menor significancia se obtuvieron para los tratamientos que incorporaron micorrizas de Hopelchén.

Ramírez-Gómez *et al.* (2018) encontraron que la interacción de micorrizas con fertilizantes orgánicos mejora sustancialmente la calidad de plántulas en vivero de especies forestales, ya que por naturaleza las micorrizas desarrollan mejor simbiosis con compuestos orgánicos. Sin embargo, en nuestro caso, el efecto en la calidad de plántula de *B. alicastrum* asociado a la interacción de micorrizas con un fertilizante orgánico Bio2® fue estadísticamente menor que cuando se empleó el fertilizante inorgánico Osmocote®.

De acuerdo con Vergara-Yoisura *et al.* (2014) por naturaleza *B. alicastrum* desarrolla una simbiosis con un consorcio de hongos micorrícicos; este hecho puede ayudar a explicar porque en nuestro caso los tratamientos donde se aplicó micorrizas de Ramón o no se aplicaron micorrizas, se obtuvieron matemáticamente las mejores medias. Tuesta-Pinedo *et al.* (2017) encontró que en la asociación de micorrizas con fertilizantes orgánicos e inorgánicos un factor que condiciona la simbiosis es el pH de los materiales combinados.

Al respecto Santillán-Fernández *et al.* (2021c) encontraron que la propagación sexual de *B. alicastrum* en vivero, produjo mejores resultados cuando se emplearon sustratos con pH neutro o ligeramente alcalino, en virtud de que la especie no tolera medios de propagación con pH ácidos (Clement y Weiblen, 2009). Estos resultados coinciden con los nuestros, ya que las medias de las variables analizadas en la calidad de plántula de *B. alicastrum* fueron mayores cuando los fertilizantes, micorrizas o su asociación presentaron pH de neutro a ligeramente alcalino.

Cuadro 9. Prueba de medias por Tukey ($\alpha = 0.05$) para determinar el efecto del tipo de fertilizante en la calidad de plántula de *Brosimum alicastrum*, reproducidas mediante semilla en vivero.

Parte aérea			Parte Raíz				
Variable	Fertilizante			Variable	Fertilizante		
	Osmocote®	Bio2®	SF		Osmocote®	Bio2®	SF
Altura (cm)	32.50 A	22.09 C	28.34 B	Longitud (cm)	14.37 A	14.36 A	14.58 A
Diámetro tallo (mm)	3.13 AB	2.91 B	3.34 A	Diámetro (mm)	3.80 AB	3.45 B	4.16 A
Hojas	7.41 A	5.38 B	6.30 AB	Peso verde (gr)	1.23 AB	0.96 B	1.43 A
Biomasa verde (gr)	3.87 A	1.65 C	2.48 B	Peso seco (gr)	0.77 A	0.62 A	0.81 A
Biomasa seca (gr)	2.58 A	1.08 B	1.13 B				

Nota: Medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Cuadro 10. Prueba de medias por Tukey ($\alpha = 0.05$) para determinar el efecto del tipo de micorriza en la calidad de plántula de *Brosimum alicastrum*, reproducidas mediante semilla en vivero.

Parte aérea					Parte Raíz						
Variable	Micorriza					Variable	Micorriza				
	Ramón	Sin Micorriza	Comercial	Conkal	Hopelchén		Ramón	Sin Micorriza	Comercial	Conkal	Hopelchén
Altura (cm)	33.80 A	31.52 A	31.29 A	30.84 A	7.45 B	Longitud (cm)	14.29 A	14.47 A	13.83 A	14.56 A	14.70 A
Diámetro tallo (mm)	3.69 A	3.52 A	3.43 A	3.34 A	1.03 B	Diámetro (mm)	4.03 A	3.85 A	3.80 A	3.89 A	2.70 B
Hojas	7.57 A	7.20 A	7.43 A	7.05 A	2.27 B	Peso verde (gr)	1.19 AB	1.39 A	1.06 B	1.17 AB	0.70 C
Biomasa verde (gr)	3.24 A	2.87 AB	2.63 AB	2.88 AB	2.02 B	Peso seco (gr)	0.78 A	0.85 A	0.75 A	0.76 A	0.30 B
Biomasa seca (gr)	2.26 A	1.90 A	2.04 A	1.89 A	0.68 B						

Medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Cuadro 11. Prueba de medias por Tukey ($\alpha = 0.05$) para determinar el efecto de la interacción fertilizante-micorriza en la calidad de plántula de *Brosimum alicastrum*, reproducidas mediante semilla en vivero.

Tratamiento	Fertilizante	Micorriza	Parte Aerea				Parte Raíz				
			Altura (cm)	Diametro tallo (mm)	Hojas	Biomasa verde (gr)	Biomasa seco (gr)	Longitud (cm)	Diámetro (mm)	Peso verde (gr)	Peso seco (gr)
T1	Osmocote®	Comercial	37.29 A	3.57 A	8.87 A	3.63 AB	2.95 A	14.78 A	4.16 A	1.22 ABCD	0.89 A
T2	Bio2®	Comercial	25.29 B	3.30 A	6.00 B	1.61 C	1.13 C	12.88 B	3.44 AB	0.90 BCD	0.61 ABC
T3	Osmocote®	Hopelchén	7.01 C	0.81 B	1.90 C	2.48 BC	0.79 C	14.88 A	3.02 AB	0.76 CD	0.36 BC
T4	Bio2®	Hopelchén	7.80 C	1.25 B	2.63 C	1.56 C	0.58 C	14.52 A	2.38 B	0.63 D	0.25 C
T5	Osmocote®	Conkal	37.36 A	3.52 A	8.07 AB	3.96 AB	2.51 AB	14.34 AB	3.92 A	1.21 ABCD	0.76 AB
T6	Bio2®	Conkal	24.32 B	3.16 A	6.03 B	1.79 C	1.28 BC	14.78 A	3.86 A	1.12 ABCD	0.77 AB
T7	Osmocote®	Ramon	40.77 A	3.92 A	9.03 A	4.75 A	3.25 A	13.58 AB	4.10 A	1.31 ABC	0.82 AB
T8	Bio2®	Ramon	26.83 B	3.45 A	6.10 B	1.73 C	1.27 BC	15.00 A	3.96 A	1.08 ABCD	0.74 AB
T9	Osmocote®	SM	40.01 A	3.83 A	9.17 A	4.52 A	3.40 A	14.24 AB	3.80 A	1.65 A	1.01 A
T10	Bio2®	SM	26.22 B	3.40 A	6.13 B	1.59 C	1.16 BC	14.60 A	3.60 AB	1.09 ABCD	0.75 AB
T11	SF	SM	28.34 B	3.34 A	6.30 B	2.48 BC	1.13 C	14.58 A	4.16 A	1.43 AB	0.81 AB

Medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Al asociar mediante la correlación de Pearson las variables de la parte aérea de la plántula con las variables de la raíz, se encontró una relación alta y directamente proporcional ($\rho > 0.50$) en ocho de las nueve variables analizadas (Figura 7). Como se esperaba el largo de la raíz (LR) se asoció inversamente proporcional con la altura de la plántula (H), ya que de acuerdo con Negreros-Castillo *et al.* (2010) en la evaluación de plántulas en vivero la parte aérea se desarrolla más rápido que su sistema radicular.

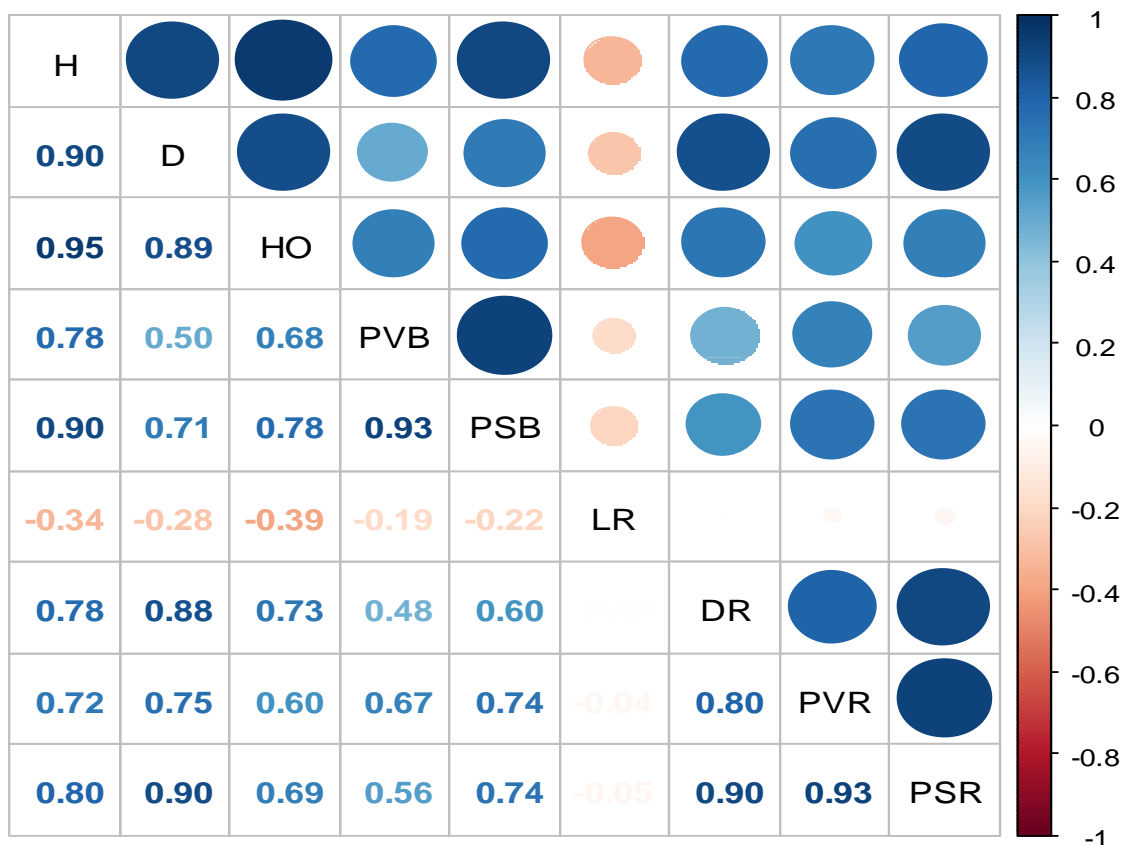


Figura 7. Matriz de correlación de Pearson que asocia las variables de la parte aérea de la plántula de *Brosimum alicastrum* con las variables de su raíz propagadas mediante semilla en vivero, donde se evaluó el efecto de las micorrizas, fertilizante y su interacción en la calidad de plántula.

En el ACP se encontró que el primer componente (Prin1) agrupó a las variables H (valor del eigenvector 0.382), D (0.366), HO (0.356), PVB (0.309), PSB (0.354), DR (0.341), PVR (0.342) y PSR (0.360), y explicó el 70.99% de la varianza total de los datos. El segundo componente (Prin2) agrupó a la variable LR (0.796) que explicó el 13.47%; entre ambos componentes explicaron el 84.46% de la varianza total de los datos. La dispersión

de los eigenvalores de cada uno de los 11 tratamientos, permitió agrupar y diferenciar tres grupos que fueron reafirmados mediante el dendograma del Análisis de Clúster (Figura 8).

El factor que más influyó en la formación de los grupos fue el asociado a fertilización e implícitamente al pH neutro o ligeramente alcalino de los compuestos utilizados. En la Figura 8 se observa que en el Grupo 1 se agruparon los tratamientos donde el fertilizante utilizado fue Osmocote®, en el Grupo 2 el fertilizante Bio2® y el testigo; y en el Grupo 3 al parecer el pH ácido de las micorrizas de Hopelchén influyó para que fueran los tratamientos con las características menos deseables para la calidad de las plántulas de *B. alicastrum* producidas mediante semilla en vivero.

La prueba de medias por Tukey ($\alpha = 0.05$) por grupo diferenciado para las variables de la parte aérea de la plántula como para las variables de la raíz, reveló que las mejores medias correspondieron para el Grupo 1, formado por los tratamientos que incluyeron el fertilizante Osmocote® (Figura 9). Sin embargo, de acuerdo con Negreros-Castillo *et al.* (2010) en la calidad de plántulas en vivero, no solo se deben evaluar las variables por separado, sino que debe haber una correspondencia entre variables aéreas y variables radiculares. Para ello Sáenz-Reyes *et al.* (2014) proponen algunos índices que asocian la parte aérea de las plántulas con su sistema radicular, cuya correspondencia sirve para determinar si las plántulas producidas en vivero tienen calidad para sobrevivir a una plantación.

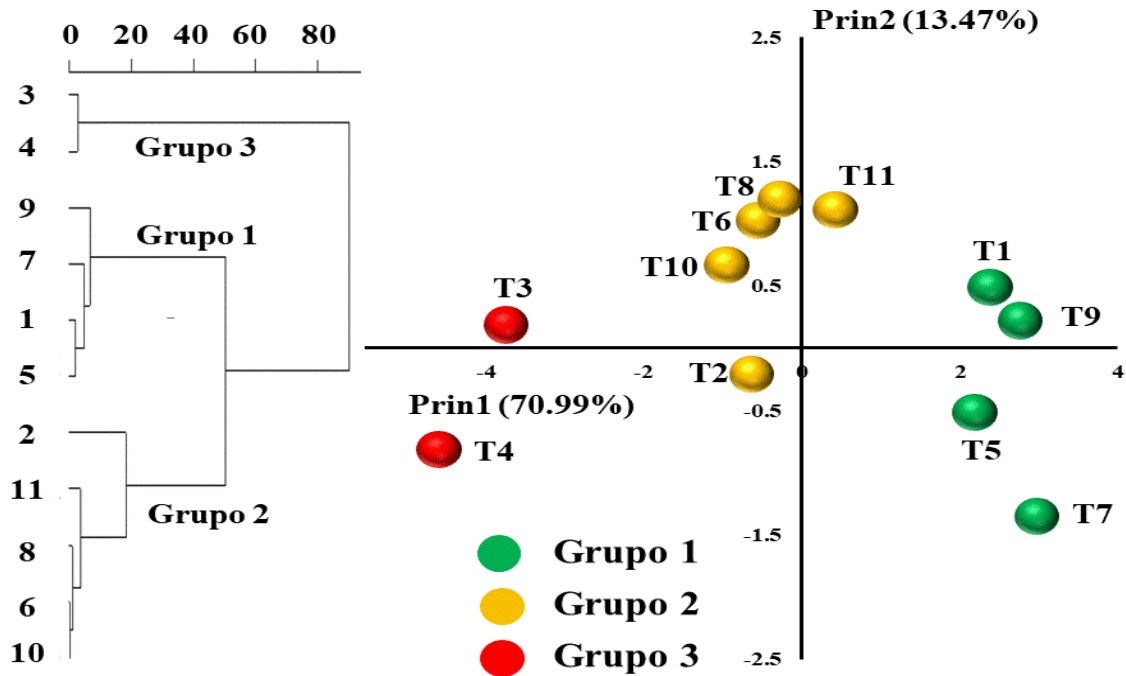


Figura 8. Agrupación de tratamientos por técnicas multivariadas en función del efecto que tuvieron en la calidad de plántula de *Brosimum alicastrum* propagadas mediante semilla en vivero

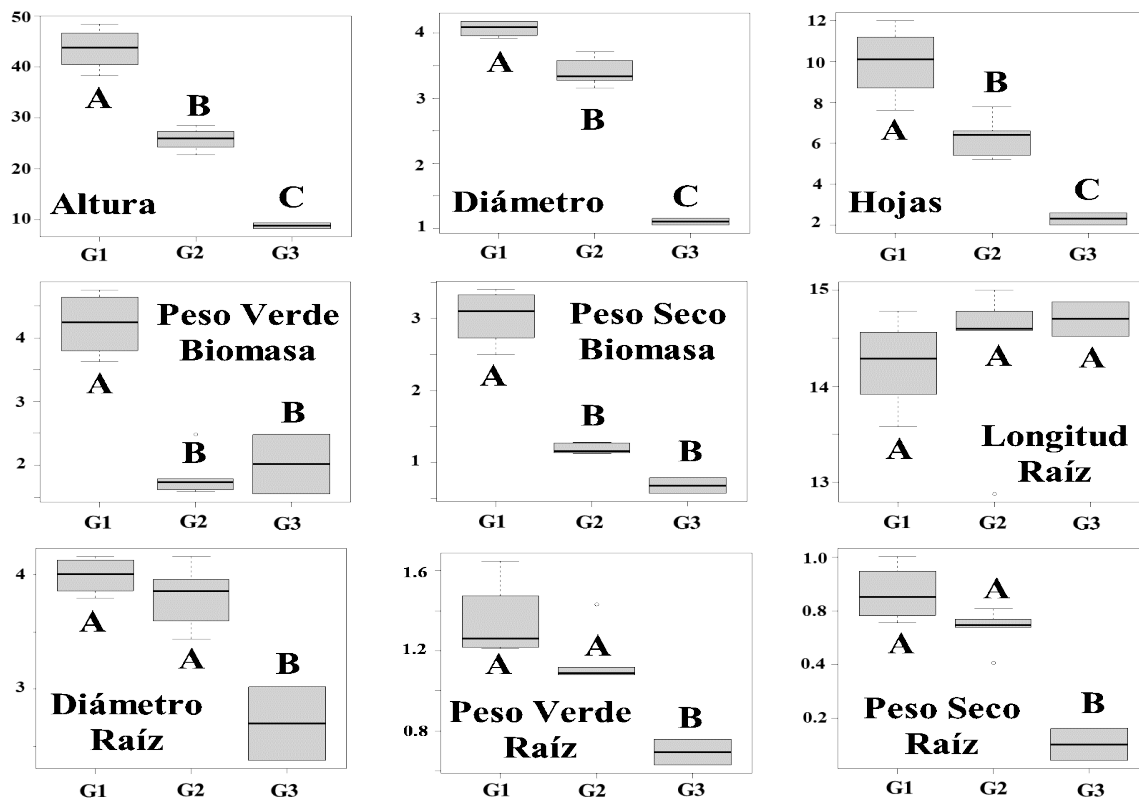


Figura 9. Prueba de medias por Tukey ($\alpha = 0.05$) por grupo diferenciado para las variables de la parte aérea y raíz de la plántula de *Brosimum alicastrum* propagadas mediante semilla en vivero.

2.3.3. Índice de calidad de plántulas

Al analizar una a una las variables morfométricas de la parte aérea de la plántula y de su sistema radicular, se encontró que las mejores características de plántula correspondieron a aquellas donde se incluyó el fertilizante mineral Osmocote®. Sin embargo, mediante la construcción de indicadores de calidad de plántula se encontró que las mejores proporciones entre parte aérea y sistema radicular se obtuvieron para aquellos ejemplares donde se utilizó el fertilizante orgánico Bio2®, con calidad de plántula de media a alta (Cuadro 12).

Sáenz-Reyes *et al.* (2014) recomiendan el empleo de indicadores de calidad de plántula de fácil construcción con variables morfométricas de simple medición en vivero, con la finalidad de evitar la selección de plántulas desproporcionadas respecto del sistema radicular con su parte aérea, y descartar ejemplares de menor altura, pero con mayor vigor. En nuestro caso se encontró que los tratamientos que incluyeron Osmocote® confirieron a sus ejemplares las mayores medias en altura, diámetro y longitud de raíz. Sin embargo, estos ejemplares presentaron calidad de plántula baja al ser evaluarlos por indicadores morfológicos.

Tuesta-Pinedo *et al.* (2017) encontró que los fertilizantes minerales desarrollan más rápido la parte aérea de las plántulas producidas en vivero; mientras que el efecto de los fertilizantes orgánicos es más evidente en el sistema radicular. Sáenz-Reyes *et al.* (2014) menciona que, por la vistosidad de las plántulas, en los viveros es más frecuente la fertilización mineral. Sin embargo, la evaluación de la calidad de plántulas mediante índices morfológicos incrementa la probabilidad de adaptación y desarrollo en una plantación (Rueda-Sánchez *et al.*, 2014).

Analizar la calidad de plántula por el Índice de Robustez (IR) garantiza la elección de ejemplares resistentes a la desecación por el viento, arbolitos más robustos tienden a adaptarse mejor a sitios con limitada humedad (Sáenz-Reyes *et al.*, 2014), como es el caso del árbol Ramon que crece en terrenos pedregosos con prolongada sequía

(Vergara-Yoisura *et al.* 2014). Mientras que relaciones desproporcionadas de Altura (cm): Largo de Raíz (mm), y Peso Seco de la Biomasa (gr): Peso Seco de la Raíz (gr) indican la existencia de un sistema radical insuficiente para proveer de energía a la parte aérea de la planta, que se agrava cuando las plantas se desarrollan en sitios con escasas de agua (Rueda-Sánchez *et al.*, 2014).

El Índice de Calidad de Dickson (ICD) es el más utilizado para evaluar la calidad de plántulas en vivero, ya que expresa el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez, lo que evita seleccionar plantas desproporcionadas, y descartar ejemplares de menor altura, pero con mayor vigor (Sáenz-Reyes *et al.* (2014). Respecto al Índice de Lignina destaca el hecho de que los ejemplares de todos los tratamientos tuvieron porcentajes altos de lignina, lo que sugiere que la fisiología del árbol Ramón tiende a producir altos niveles de este biopolímero, algo que ya ha sido documentado previamente por Pech-Cohuo *et al.* (2022).

Finalmente, la calidad de plántula de *B. alicastrum* evaluada como alta, se encontró en aquellos tratamientos donde se asoció el fertilizante orgánico Bio2® con micorrizas provenientes de la misma especie (Ramón), y para el testigo que no utilizó ni fertilizante ni micorrizas (Cuadro 12). Estos resultados coinciden con lo reportado por Pérez de la Cruz *et al.* (2012), Vergara-Yoisura *et al.* (2014), y Santillán-Fernández *et al.* (2021c) quienes encontraron que en vivero el tipo de sustrato y riego condicionan el desarrollo de las plántulas de *B. alicastrum*, por delante de la fertilización. Sin embargo, el efecto de las micorrizas en la calidad de plántula producidas en vivero no había sido documentado para esta especie.

Cuadro 12. Indicadores de calidad de plántula de *B. alicastrum* producida mediante semilla en vivero, donde se evaluó el efecto de las micorrizas y fertilización en la calidad de plántula

Tratamiento	Fertilizante	Micorriza	Indicadores de calidad de plántula de <i>B. alicastrum</i>							Calidad Plantula
			H	D	IR	R H:LR	R PSB:PSR	ICD	IL	
T1	Osmocote®	Comercial	44.9 (A)	4.18 (A)	11.21 (B)	3.04 (B)	3.36 (B)	0.27 (M)	81 (A)	Baja
T2	Bio2®	Comercial	28.56 (A)	3.58 (M)	8.39 (B)	2.23 (M)	1.84 (A)	0.18 (B)	69 (A)	Media
T3	Osmocote®	Hopelchén	8.3 (B)	1.06 (B)	2.76 (A)	0.58 (A)	3.32 (B)	0.06 (B)	35 (A)	Baja
T4	Bio2®	Hopelchén	9.4 (B)	1.16 (B)	4.84 (A)	0.66 (A)	3.62 (B)	0.02 (B)	41 (A)	Baja
T5	Osmocote®	Conkal	42.72 (A)	4.18 (A)	11.52 (B)	2.97 (B)	3.18 (B)	0.23 (M)	62 (A)	Baja
T6	Bio2®	Conkal	24.26 (M)	3.28 (M)	6.32 (M)	1.65 (A)	1.65 (A)	0.23 (M)	70 (A)	Media
T7	Osmocote®	Ramon	48.4 (A)	4.10 (A)	11.83 (B)	3.56 (B)	4.10 (B)	0.25 (M)	67 (A)	Baja
T8	Bio2®	Ramon	27.32 (A)	3.72 (M)	6.99 (M)	1.82 (A)	1.76 (A)	0.22 (M)	71 (A)	Alta
T9	Osmocote®	SM	38.3 (A)	3.92 (M)	11.15 (B)	2.69 (B)	3.44 (B)	0.33 (M)	71 (A)	Baja
T10	Bio2®	SM	22.8 (M)	3.16 (M)	6.36 (M)	1.56 (A)	1.57 (A)	0.22 (M)	71 (A)	Media
T11	SF	SM	26.02 (A)	3.34 (M)	6.34 (M)	1.78 (A)	1.39 (A)	0.21 (M)	49 (A)	Alta

Calidad Alta (A): Se refiere a plantas que presentan ausencia absoluta de características indeseables, es decir, que las variables evaluadas se calificaron como de calidad alta (A), aunque se puede aceptar hasta tres valores con calidad media (M), pero en ningún caso valores con calidad baja (B). **Calidad Media (M):** Se aceptan hasta cuatro valores de calidad media (M) y dos variables con calificación de calidad baja (B). **Calidad Baja (B):** Son aquellas plantas que presentan tres o más valores de calidad baja (B), es decir, son plantas que tendrán una baja supervivencia y reducido desarrollo en los sitios de plantación.

2.4. CONCLUSIÓN

Al evaluar el efecto de las micorrizas y la fertilización en la calidad de plántula de *B. alicastrum* producida en vivero mediante semilla, se encontró que el factor fertilización fue el que condicionó la calidad de las plántulas. El factor micorrizas y la asociación de estas con el fertilizante no fue significativo ($p < 0.0001$). Las mejores medias (Tukey, $\alpha = 0.05$) para las variables evaluadas tanto de la parte aérea de la plántula como de su sistema radicular se obtuvieron cuando se emplearon fertilizantes minerales. Sin embargo, al construir indicadores morfológicos de calidad de plántula en vivero que asocian la proporción de la parte aérea de las plántulas con su sistema radicular, lo que permite una mayor adaptación a plantaciones, se determinó que los tratamientos que incluyeron fertilizantes orgánicos y el testigo tuvieron la mejor calidad de plántula. También se encontró que al parecer la especie *B. alicastrum* no tolera pH ácidos de los factores empleados en su propagación. Ante la poca investigación desarrollada sobre la propagación de *B. alicastrum*, se sugiere ampliar la frontera de conocimiento sobre su producción en vivero, y eventualmente desarrollar más estudios sobre la silvicultura de la especie. Estos resultados pueden ayudar a mejorar la calidad de plántula en vivero de una especie con reciente potencial económico.

CONCLUSIONES GENERALES

La evolución espacio-temporal de la producción científica mostró un crecimiento exponencial de textos científicos a nivel mundial donde la especie forestal *B. alicastrum* fue tema de investigación de 1883 a 2020. La principal productividad se concentró en países de América donde México (43.83%, 135 artículos) y USA (25.65%, 79) dominaron. Sin embargo, a diferencia de las investigaciones desarrolladas en USA, las de México no tuvieron un impacto relevante (medido por el número de citas bibliográficas) como resultado de la publicación en revistas editadas en español, cuando las revistas de impacto están lideradas por países anglosajones, en inglés. Los temas de mayor relevancia fueron los relacionados con la ecología (18.51%), reforestación (15.26%), botánica (13.31%) y usos en la alimentación-animal (12.01%), y alimentación-humana (11.04%). Lo que evidenció un vacío de investigación en temas relacionados con la silvicultura de la especie con especial relevancia en su propagación, manejo en vivero y plantaciones forestales. Para el caso de México se encontró que la investigación sobre este tópico se focalizó en el sureste de México, y estuvo liderada por la UNAM en temas de botánica, UADY (alimentación animal) y CICY (alimentación humana). La ubicación espacial de las principales instituciones de investigación en México coincidió con el área de distribución natural de la especie, lo que puede ser un factor de éxito para que la generación de nuevo conocimiento tenga mayor impacto, al facilitar la transferencia de tecnología, sobre todo si se considera que la investigación en torno al tópico de *B. alicastrum* es incipiente.

Al evaluar el efecto de las micorrizas y la fertilización en la calidad de plántula de *B. alicastrum* producida en vivero mediante semilla, se encontró que el factor fertilización fue el que condicionó la calidad de las plántulas. El factor micorrizas y la asociación de estas con el fertilizante no fue significativo ($p < 0.0001$). Las mejores medias (Tukey, $\alpha = 0.05$) para las variables evaluadas tanto de la parte aérea de la plántula como de su sistema radicular se obtuvieron cuando se emplearon fertilizantes minerales. Sin embargo, al construir indicadores morfológicos de calidad de plántula en vivero que asocian la proporción de la parte aérea de las plántulas con su sistema radicular, lo que permite una mayor adaptación a plantaciones, se determinó que los tratamientos que

incluyeron fertilizantes orgánicos y el testigo tuvieron la mejor calidad de plántula. También se encontró que al parecer la especie *B. alicastrum* no tolera pH ácidos de los factores empleados en su propagación. Ante la poca investigación desarrollada sobre la propagación de *B. alicastrum*, se sugiere ampliar la frontera de conocimiento sobre su producción en vivero, y eventualmente desarrollar más estudios sobre la silvicultura de la especie. Estos resultados pueden ayudar a mejorar la calidad de plántula en vivero de una especie con reciente potencial económico.

LITERATURA CITADA

- Aguado-López E, Rogel-Salazar R, Garduño-Oropeza G, Becerril-García A, Zúñiga-Roca M and Velázquez-Álvarez A. 2009. Patrones de colaboración científica a partir de redes de coautoría. *Convergencia Revista de Ciencias Sociales* 16: 225-258. <https://www.redalyc.org/pdf/105/10512244010.pdf>
- Aguilar-Gallegos N, Martínez-González EG, Aguilar-Ávila J, Santoyo-Cortés H, Muñoz-Rodríguez M and García-Sánchez EI. 2016. Análisis de redes sociales para catalizar la innovación agrícola: de los vínculos directos a la integración y radialidad. *Estudios Gerenciales* 32(140): 197-207. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2016.06.006>
- Allen EB, Allen MF, Egerton-Warburton L, Corkidi L and Gómez-Pompa A. 2003. Impacts of early-and late-seral mycorrhizae during restoration in seasonal tropical forest, Mexico. *Ecological Applications* 13(6): 1701-1717. <https://doi.org/10.1890/02-5309>
- Atran S, Medin D, Ross N, Lynch E, Vapnarsky V, Ucan-Ek E, Coley J, Timura C and Baran M. 2002. Folkecology, cultural epidemiology, and the spirit of the commons: a garden experiment in the Maya lowlands, 1991-2001. *Current Anthropology* 43(3): 421-450. <https://doi.org/10.1086/339528>
- Ayala-Montejo D, Monterroso-Rivas AI, Baca-Del Moral J, Escamilla-Prado E, Sánchez-Hernández R, Pérez-Nieto J, Rajagopal I, Alegre-Orihuela JC and Valdés-Velarde E. 2020. Identifying research areas on carbon and nitrogen dynamics in coffee agroforestry systems in Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 23(3): 1-16. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3403/1499>
- Ballina-Gómez H, Ruiz-Sánchez E, Ambriz-Parra E and Alvarado-López C. 2017. Efecto de la luz y micorrizas en la germinación de semillas de árboles de selvas secas. *Madera y bosques* 23(3): 29-37.
- Bastian M, Heymann S and Jacomy M. 2009. Gephi: An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks. *Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media* 3(1): 361-362. <https://ojs.aaai.org/index.php/ICWSM/article/view/13937>
- Benavides JE. 1999. Árboles y arbustos forrajeros: una alternativa agroforestal para la ganadería. In: www.fao.org, www.fao.org/Ag/aga/AGAP/FRG/AGROFOR1/bnvdes23.pdf. 28 p. accessed: March 2021.
- Bongers F, Popma J, Del Castillo JM and Carabias J. 1988. Structure and floristic composition of the lowland rain forest of Los Tuxtlas, Mexico. *Vegetatio* 74: 55-80. <https://doi.org/10.1007/BF00045614>
- Börner K. 2011. Plug-and-play macroscopes. *Communications of the ACM* 54(3): 60-69. <https://doi.org/10.1145/1897852.1897871>

- Bouchet-Valat M and Bastin G. 2013. RcmdrPlugin. temis, a graphical integrated text mining solution in R. *The R Journal* 5(1): 188-196. <https://hal.univ-grenoble-alpes.fr/file/index/docid/939504/filename/bouchetvalat-bastin.pdf>
- Bravo-Vinaja Á and Sanz-Casado E. 2008. Análisis bibliométrico de la producción científica de México en Ciencias Agrícolas durante el periodo 1983-2002. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(3): 187-194. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/31-3/1a.pdf>
- Bullock R and Lawler J. 2015. Community forestry research in Canada: A bibliometric perspective. *Forest Policy Economics* 59: 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2015.05.009>
- Carrera-Nieva A and López-Ríos G. 2004. Manejo y evaluación de ectomicorrizas en especies forestales. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente* 10(2): 93-98.
- Castillo-Guevara C, Lara C and Pérez G. 2012. Micofagia por roedores en un bosque templado del centro de México. *Revista mexicana de biodiversidad* 83(3): 772-777.
- Clement W and Weiblen G. 2009. Morphological evolution in the mulberry family (Moraceae). *Systematic Botany* 34(3): 530-552.
- CONACYT - Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. 2021a. Consorcio Nacional de Recursos de Información Científica y Tecnológica. In: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/0aa30b4d-ab69-494d-817a-dd0da87fe958-0aa89633/relevance/1> accessed: June 2021.
- CONACYT - Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. 2021b. Padrón del Programa Nacional de Posgrados de Calidad. In: <http://svrtmp.main.conacyt.mx/ConsultasPNPC/padron-pnpc.php> accessed: June 2021.
- CONAFOR - Comisión Nacional Forestal. 2021. Programa Federal Sembrado Vida. In: <https://www.gob.mx/bienestar/acciones-y-programas/programa-sembrando-vida> accessed: September 2021.
- Condit R, Hubbell SP and Foster RB. 1992. Recruitment near conspecific adults and the maintenance of tree and shrub diversity in a neotropical forest. *The American Naturalist* 140(2): 261-286. <https://doi.org/10.1086/285412>
- Domínguez-Zarate PA, García-Martínez I, Güemes-Vera N and Totosa A. 2019. Texture, color and sensory acceptance of tortilla and bread elaborated with Maya nut (*Brosimum alicastrum*) flour to increase total dietary fiber. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 20(3): 721-741. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num3_art:1590

- ESRI - Environmental Systems Research Institute. 2021. ArcGIS (Versión 10.3) Software de procesamiento digital de imágenes satelitales. In: <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop> accessed: July 2021.
- Galindo-Flores G, Castillo-Guevara C, Campos-López A and Lara C. 2015. Caracterización de las ectomicorrizas formadas por *Laccaria trichodermophora* y *Suillus tomentosus* en *Pinus montezumae*. *Botanical Sciences* 93(4): 855-863. <https://doi.org/10.17129/botsci.200>
- Gallardo-Salazar J, Pompa-García M, Aguirre-Salado CA, López-Serrano PM and Meléndez-Soto A. 2020. Drones: tecnología con futuro promisorio en la gestión forestal. *Revista mexicana de ciencias Forestales* 11(61): 27-50. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.794>
- Gersbach H and Schneider MT. 2015. On the global supply of basic research. *Journal of Monetary Economics* 75: 123-137. <https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2015.02.004>
- Góngora-Chin R, Flores-Guido S, Ruenes-Morales M, Aguilar-Cordero W and García-López J. 2016. Uso tradicional de la flora y fauna en los huertos familiares mayas en el municipio de Campeche, Campeche, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 3(9): 379-389. Online: <https://bit.ly/3nuleWQ>
- Granovetter MS. 1973. The strength of weak ties. *American Journal of Sociology* 78(6): 1360-1380. <https://doi.org/10.1086/225469>
- Gutiérrez-Granados G and Dirzo R. 2009. Remoción de semillas, herbivoría y reclutamiento de plántulas de *Brosimum alicastrum* (Moraceae) en sitios con manejo forestal contrastante de la selva Maya, Quintana Roo, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 85: 51-58. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0366-21282009000200005&script=sci_abstract&lng=pt
- Hazarika T, Goswami K and Das P. 2003. Bibliometric analysis of Indian forester: 1991-2000. *IASLIC Bulletin* 48(4): 213-223. <http://eprints.rclis.org/5828/1/pdf.pdf>
- Hernández-González O, Vergara-Yoisura S and Larqué-Saavedra A. 2015. Primeras etapas de crecimiento de *Brosimum alicastrum* Sw. en Yucatán. *Revista mexicana de ciencias forestales* 6(27): 38-49.
- INEGI 2021. Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México. http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/usv250s7gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no. Fecha de consulta 18 de diciembre de 2021.
- Langman IK. 2018. A selected guide to the literature of the flowering plants of Mexico. First Edition. University of Pennsylvania Press. Philadelphia, USA. pp. 65-502.

- Leipold S. 2014. Creating forests with words—A review of forest-related discourse studies. *Forest Policy and Economics* 40: 12-20. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2013.12.005>
- Li W and Zhao Y. 2015. Bibliometric analysis of global environmental assessment research in a 20-year period. *Environmental Impact Assessment Review* 50: 158-166. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.09.012>
- López-Leyva S. 2011. Visibilidad del conocimiento mexicano. La participación de las publicaciones científicas mexicanas en el ámbito internacional. *Revista de Educación Superior* 40(158): 151-165. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-27602011000200010&script=sci_abstract&lng=pt
- Magnitskiy SV and Plaza GA. 2007. Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles tropicales. *Agron. colomb.* 25(1): 96-103.
- Malesios C and Arabatzis G. 2012. An evaluation of forestry journals using bibliometric indices. *Annals Forest Research* 55(2): 147-164. <https://www.afrjournal.org/index.php/afr/article/viewFile/55/83>
- Mancipe-Murillo C, Calderón-Hernández M and Pérez-Martínez LV. 2018. Evaluación de viabilidad de semillas de 17 especies tropicales altoandinas por la prueba de germinación y la prueba de tetrazolio. *Caldasia* 40(2): 366-382. doi: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v40n2.68251>
- Martínez D, Barroetaveña C and Rajchenberg M. 2007. Influencia del régimen de fertilización y del momento de inoculación en la micorrización de *Pinus ponderosa* en la etapa de vivero. *Bosque (Valdivia)* 28(3): 226-233.
- Martínez-Santiago SY, Alvarado-Segura AA, Zamudio-Sánchez FJ and Cristóbal-Acevedo D. 2017. Análisis espacio-temporal de la modelación forestal en México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 23(1): 5-22. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.01.003>
- Meiners M, Sánchez-Garduño C and De Blios S. 2009. El Ramón: Fruto de nuestra cultura y raíz para la conservación. *Biodiversitas* 87: 7-10. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/6483.pdf>
- Miah D, Shin MY and Koike M. 2008. The forestry research in Bangladesh: A bibliometric analysis of the journals published from Chittagong University, Bangladesh. *Forest Science and Technology* 4(2): 58-67. <https://doi.org/10.1080/21580103.2008.9656339>
- Molina-Escalante M, Castillo-Guerra L, Parada-Berrios F, Lara-Ascencio F and Linares A. 2015. Caracterización morfológica in situ de Ojushte (*Brosimum alicastrum* Swartz) y su incidencia en la selección de germoplasma de alto potencial nutricional en El Salvador. *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible* 3: 61-76. Online: <https://bit.ly/3d6V3R4>

- Montgomery R and Chazdon RJ. 2002. Light gradient partitioning by tropical tree seedlings in the absence of canopy gaps. *Oecologia* 131: 165-174. <https://doi.org/10.1007/s00442-002-0872-1>
- Negreros-Castillo P, Apodaca-Martinez M and Mize C. 2010. Efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de cedro, caoba y roble. *Madera y bosques* 16(2): 7-18.
- Orantes-García C, Pérez-Farrera MÁ, Rioja-Paradela TM and Garrido-Ramírez ER. 2013. Viabilidad y germinación de semillas de tres especies arbóreas nativas de la selva tropical, Chiapas, México. *Polibotánica* 36: 117-127
- Orwa C, Mutua A, Kindt R, Jamnadass R and Simons A. 2009. Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0. World Agroforestry Centre, Kenya. In: worldagroforestry.org, <https://www.worldagroforestry.org/output/agroforestry-database> accessed: April 2021.
- Padilla FM and Pugnaire FI. 2006. The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. *Frontiers in Ecology and the Environment* 4(4): 196-202. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2006\)004\[0196:TRONPI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2006)004[0196:TRONPI]2.0.CO;2)
- Parabhoi L, Sahu RR and Kumari N. 2017. Scholarly Research Trend of Dr. Yashwant Singh Parmar University of Horticulture and Forestry, Solan, Nauni During the Year 2006-2015: A Bibliometric Analysis. *International Journal of Library and Information Studies* 7(4): 421-430. <https://www.ijlis.org/articles/scholarly-research-trend-of-dr-yashwant-singh-parmar-university-of-horticulture-and-forestry-solan-nauni-during-the-year.pdf>
- Pech-Cohuo S, Martín-López H, Uribe-Calderón J, González-Canché N, Salgado-Tránsito I, May-Pat A, ... and Pacheco, N. 2022. Physicochemical, Mechanical, and Structural Properties of Bio-Active Films Based on Biological-Chemical Chitosan, a Novel Ramon (*Brosimum alicastrum*) Starch, and Quercetin. *Polymers* 14(7): 1346
- Pedraza-López J. 2021. El programa estratégico Sembrando Vida: ¿promueve la soberanía alimentaria? *Grietas* 2(2): 147-161. <http://revistagrietas.com/index.php/grietas/article/view/16>
- Pérez de la Cruz S, García C, Ramirez E and López J. 2012. Diferencias en crecimiento y desarrollo de plántulas de mojú (*Brosimum alicastrum* Swartz) en condiciones de vivero. *Lacandonia* 6(2).
- Peters CM and Pardo-Tejeda E. 1982. *Brosimum alicastrum* (Moraceae): uses and potential in Mexico. *Economic Botany* 36(2): 166-175. <https://doi.org/10.1007/BF02858712>

- Peters CM. 1994. Sustainable harvest of non-timber plant resources in tropical moist forest: An ecological primer. In: semanticscholar.org, https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNABT501.pdf. 73 p. accessed: March 2021.
- Polinko AD and Coupland K. 2020. Paradigm shifts in forestry and forest research: A bibliometric analysis. *Canada Journal Forest Research* 51(2): 154-162. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0311>
- Puleston DE. 1968. *Brosimum alicastrum* as a subsistence alternative for the Classic Maya of the central Southern Lowlands (Guatemala) (Master's thesis). University of Pennsylvania, Philadelphia, USA. 137 p.
- R Project. 2021. The R Project for Statistical Computing: R version 3.6.1. [Revisada en: 8 jun 2021]. <https://www.r-project.org/>
- Ramírez-Gómez M, Peñaranda-Rolon A, Pérez-Moncada U and Serralde D. 2018. Biofertilización con hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) en especies forestales en vivero. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 16(2): 15-25.
- Ramírez-Sánchez S, Ibáñez-Vázquez D, Gutiérrez-Peña M, Ortega-Fuentes MS, García-Ponce LL and Larqué-Saavedra A. 2017. El ramón (*Brosimum alicastrum* Swartz) una alternativa para la seguridad alimentaria en México. *Agroproductividad* 10(1): 80-84. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/943>
- Raparelli E and Bajocco S. 2019. A bibliometric analysis on the use of unmanned aerial vehicles in agricultural and forestry studies. *International Journal of Remote Sensing* 40(24): 9070-9083. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1569793>
- Read L and Lawrence D. 2003. Recovery of biomass following shifting cultivation in dry tropical forests of the Yucatan. *Ecological Applications* 13(1): 85-97. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2003\)013%5b0085:ROBFSC%5d2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2003)013%5b0085:ROBFSC%5d2.0.CO;2)
- Reyes-Basilio IB, Acosta-Hernández AC, González-Cásares M and Pompa-García M. 2020. Perspectivas de los anillos de crecimiento para estimación potencial de carbono en México. *Madera y bosques* 26(2): 1-12. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632112>
- Rojas-Schroeder J, Sarmiento-Franco L, Sandoval-Castro C and Santos-Ricalde R. 2017. Utilización del follaje de ramón (*Brosimum alicastrum* Swarth) en la alimentación animal. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 20(3): 363-371. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2501>
- Rueda A, Benavides J, Prieto-Ruiz J, Sáenz Reyez J, Orozco-Gutiérrez G and Molina Castañeda A. 2012. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. *Revista mexicana de ciencias forestales* 3(14): 69-82.

- Rueda-Sánchez A, Benavides-Solorio J, Saenz-Reyez J, Muñoz H, Prieto-Ruiz J and Orozco G. 2014. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista mexicana de ciencias forestales* 5(22): 58-73.
- Sáenz J, Muñoz H, Pérez C, Rueda A and Hernández J. 2014. Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero " Morelia", estado de Michoacán. *Revista mexicana de ciencias forestales* 5(26): 98-111.
- Santillán-Fernández A, Calva-Castillo A, Vásquez-Bautista N, Huicab-Pech ZG, Larqué-Saavedra A and Bautista-Ortega J. 2021a. Balance hidro-climático de *Brosimum alicastrum* Sw. y su variabilidad ante escenarios de cambio climático en la península de Yucatán, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41(1): 41-49. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/44-1/5a.pdf>
- Santillán-Fernández A, González-Pérez C, Bautista-Ortega J, Huicab-Pech ZG, Escobar-Castillo J and Larqué-Saavedra A. 2020. *Brosimum alicastrum* Swartz como alternativa para la reconversión productiva de áreas agrosilvopastoriles en Campeche. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 11(61): 51-69. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.722>
- Santillán-Fernández A, Salinas-Moreno Y, Valdez-Lazalde JR and Pereira-Lorenzo S. 2021b. Spatial-Temporal Evolution of Scientific Production about Genetically Modified Maize. *Agriculture* 11(3): 246. <https://doi.org/10.3390/agriculture11030246>.
- Santillán-Fernández A, Santiago-Santés OV, Espinosa-Grande E, Huicab-Pech ZG, Larqué-Saavedra FA and Bautista-Ortega J. (2021c). Sexual and asexual propagation of *Brosimum alicastrum* Swartz in Campeche, México. *La Granja* 34(2): 105-116. <https://doi.org/10.17163/lgr.n34.2021.07>
- Sanz-Valero J and Wanden-Berghe C. 2017. Análisis bibliométrico de la producción científica, indizada en MEDLINE, sobre los servicios de salud proporcionados por las unidades de hospitalización a domicilio. *Hospital a Domicilio* 1(1): 21-34. <https://doi.org/10.22585/hospdomic.v1i1.3>
- Sife AS, Bernard R and Ernest E. 2013. Research productivity and scholarly impact of forestry researchers at Sokoine University of Agriculture: A bibliometric Analysis. *Journal of Continuing Education and Extension* 4(2): 261-278. <http://repository.costech.or.tz/handle/123456789/73829>
- Tuesta-Pinedo Á, Trigozo-Bartra E, Cayotopa-Torres J, Arévalo-Gardini E, Arévalo-Hernández C, Zúñiga-Cernadez L and Leon-Ttacca B. 2017. Optimización de la fertilización orgánica e inorgánica del cacao (*Theobroma Cacao* L.) con la inclusión de *Trichoderma* endófito y Micorrizas arbusculares. *Revista Tecnología en Marcha* 30(1): 67-78.
- Turcios AJ and Castañeda BN. 2010. Desarrollo y evaluación de galletas fortificadas a base de masica (*Brosimum alicastrum*) para niños y niñas entre 6-13 años de la

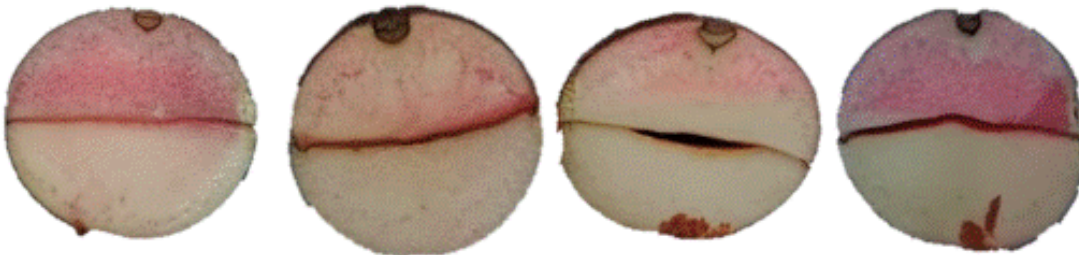
- Escuela Lempira, Lizapa Maraita, Honduras (Undergraduate Thesis). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 46 p.
- Uribe-Toril J, Ruiz-Real JL, Haba-Osca J and De Pablo-Valenciano J. 2019. Forests' first decade: a bibliometric analysis overview. *Forests* 10(1): 72. <https://doi.org/10.3390/f10010072>
- Vallejos J, Badilla Y, Picado F and Murillo O. 2010. Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. *Agron. Costarricense* 34(1): 105–119.
- Vargas-Larreta B, Corral-Rivas JJ, Aguirre-Calderón OA, López-Martínez JO, De los Santos-Posadas HM, Zamudio-Sánchez FJ, Treviño-Garza EJ, Martínez-Salvador M and Aguirre-Calderón CG. 2017. SiBiFor: Forest biometric system for forest management in Mexico. *Revista Chapingo Series Ciencias Forestales y del Ambiente* 23(3): 437-455. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.06.040>
- Vera A. 2006. Nutrición y riego en los viveros. *Horticultura internacional* (1): 52-65.
- Vergara-Yoisura S, Briceño-Santiago CI, Pérez-Balam JV, Hernández-González O, Rosado-Loria LG, Larqué-Saavedra A. 2014. Publicaciones de *Brosimum alicastrum*. Primera Edición. Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán, Mérida, Yucatán, México. 102 p.
- Whigham DF, Olmsted I, Cano EC and Harmon ME. 1991. The impact of Hurricane Gilbert on trees, litterfall, and woody debris in a dry tropical forest in the northeastern Yucatan Peninsula. *Biotropica* 23(4a): 434-441. <https://doi.org/10.2307/2388263>
- WoS - Web of Science. 2021. Journal Citation Reports. In: <https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/journal-citation-reports/> accessed: August 2021
- Wright SJ, Muller-Landau HC, Calderón O and Hernández A. 2005. Annual and spatial variation in seedfall and seedling recruitment in a neotropical forest. *Ecology* 86(4): 848-860. <https://doi.org/10.1890/03-0750>
- Zahawi RA. 2003. Island biogeography and restoration: the role of living fence islands as regeneration foci in the rehabilitation of degraded lands in Honduras (Doctoral thesis). University of Illinois, Urbana, Illinois, USA. 157 p.

ANEXOS

Totalmente teñidas



Parcialmente teñidas



No teñidas

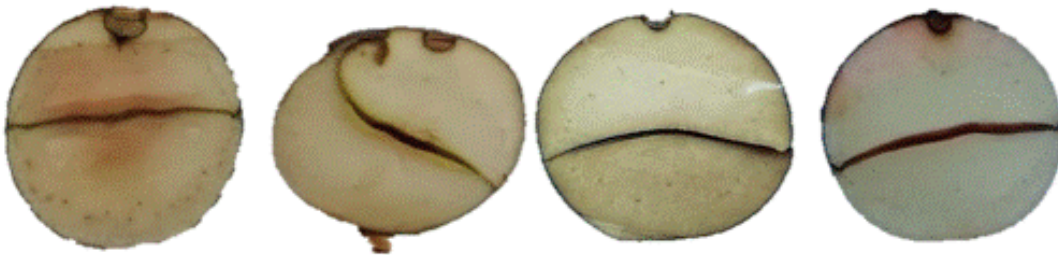


Figura 1A. Tinción de frutos de *B. alicastrum* mediante la prueba de cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio (CTT) (Sigma T8877-10G) preparada al 1 % en agua tridestilada esté