

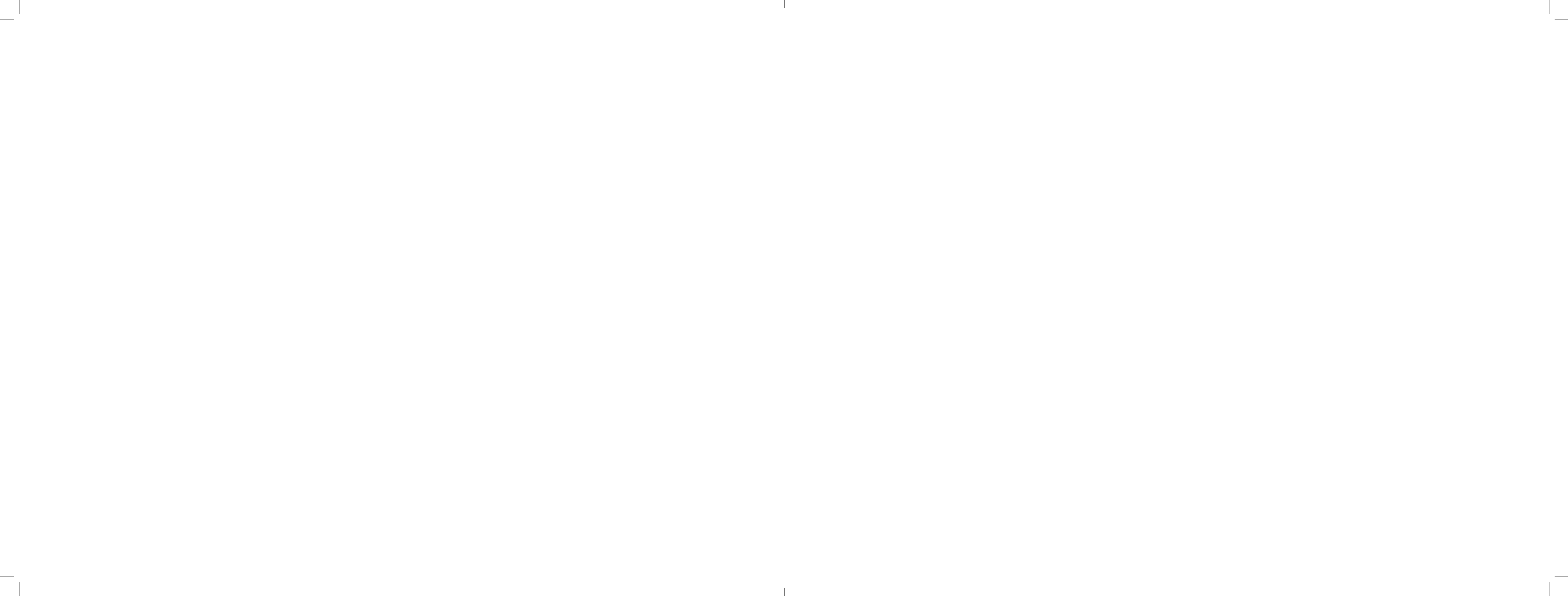
BIOECONOMÍA FORESTAL

Compiladores: René García Martínez, Felipe Neri Hernández Soto,
Hotón Sánchez Aguilar, José Antonio de la Cruz Hernández, Tadeo
Noble Alfredo Esteban y Salvador Ordaz Silva

*Tecnológico de Estudios
Superiores de Valle de Bravo*



incunabula



BIOECONOMÍA FORESTAL

Compiladores:

René García Martínez
Felipe Neri Hernández Soto
Hotón Sánchez Aguilar
José Antonio de la Cruz Hernández
Alfredo Esteban Tadeo Noble
Salvador Ordaz Silva

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE VALLE DE BRAVO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA FORESTAL



Incunabula

Directorio de autoridades

L.C. MA. ESTHER RODRÍGUEZ GÓMEZ
Directora General del Tecnológico de Estudios Superiores
de Valle de Bravo

M.C. ISIDRO BAZANTE GONZÁLEZ
Director de la Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín,
Universidad Autónoma de Baja California

M.C. José Diego Bárcenas Torres
Director del Instituto Tecnológico del Valle de Morelia

Dr. José Humberto Caamal Velázquez
Responsable de las Funciones de Director del Campus Campeche del
Colegio de Postgraduados

MTIC JOSÉ CUPERTINO PÉREZ MURILLO
Director de la Facultad de Ingeniería y Negociación de San Quintín,
Universidad Autónoma de Baja California

Editorial Incunabula
35 norte 3426, Nueva Aurora, Puebla.
ISBN: 978-607-99237-9-1
Pre-registro Reniecyt: 1602399

Forma correcta de citar: García-Martínez, R.; Hernández-Soto, F.N.; Sánchez-Aguilar, H.; De la Cruz-Hernández, J.A., Tadeo-Noble, A.E.; Ordaz-Silva, S. (Compiladores). 2022. Bioeconomía Forestal. Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo, División de Ingeniería Forestal. Valle de Bravo, Estado de México. 16 al 18 de noviembre de 2022.

Comisión Organizadora

DRA. JARINZI CORONA TERÁN
MC. JANETH ESMERALDA BARRAZA DOMÍNGUEZ
MDR. JOSÉ ANTONIO DE LA CRUZ HERNÁNDEZ
M.C. HOTÓN SÁNCHEZ AGUILAR
MEA. FELIPE NERI HERNÁNDEZ SOTO
DR. RENÉ GARCÍA MARTÍNEZ
BIOL. ISRAEL CASTILLO JIMÉNEZ
IF. JESÚS GARCÍA URBINA
IF. URIEL ESTRADA MENCHACA
Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo

DRA. REBECA GONZÁLEZ VILLEGAS
Instituto Tecnológico del Valle de Morelia

MTRA. MÓNICA MUÑOZ FLORES
Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla

DR. JOSÉ ANTONIO HERNÁNDEZ HERRERA
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

DR. SALVADOR ORDAZ SILVA
Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín,
Universidad Autónoma de Baja California

DR. ALFREDO ESTEBAN TADEO NOBLE
Colegio de Postgraduados Campus Campeche

IF. JOSÉ CARLOS MARTÍNEZ
Reforestamos México A.C.
Cuerpo académico de Agrobiotecnología / Facultad de Ingeniería y
Negocios San Quintín, Universidad Autónoma de Baja California

Comité Científico Revisor

Dra. Jarinzi Corona Terán
MC. Janeth Esmeralda Barraza Domínguez
Dr. René García Martínez
MDR. José Antonio de la Cruz Hernández
M.C. Hotón Sánchez Aguilar
MEA. Felipe Neri Hernández Soto
Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo

Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo.
División de Ingeniería Forestal. Carretera Federal Valle de Bravo Km.
30, Ejido San Antonio Laguna, 51200.
Valle de Bravo, Estado de México.

Indice

<i>Determinación no destructiva del coeficiente de forma en la sección longitudinal del fuste en tres especies arbóreas</i>	7
Determinación no destructiva del factor de forma en la sección transversal de árboles tropicales en Campeche, México	15
Supervivencia de plantaciones forestales en la Sierra Sur de Oaxaca	21
Germinación de Semillas de <i>Stenocereus gummosus</i> con tratamientos pregerminativos de giberelinas (GA3) en Condiciones in vitro	26
Aprovechamiento del recurso bambú en el marco de la bioeconomía	33
Efecto del extracto de <i>Lens culinaris</i> sobre el crecimiento radicular en estacas de <i>Morus alba</i>	40
Rescate de conocimientos tradicionales sobre indicadores ecológicos y climatológicos en Castamay, Campeche	46
Modelos de volumen para <i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken en cafetales bajo sombra en Zongolica, Veracruz	56

Efecto de *Laccaria laccata* (Scop.) Cooke y
Lupinus montanus Kunth en el crecimiento de plantas
de un pino neotropical
65

Modelos volumétricos fustales para *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.)
Oken en sistemas agroforestales de café
en Tezonapa, Veracruz
75

DETERMINACIÓN NO DESTRUCTIVA DEL COEFICIENTE DE FORMA EN LA SECCIÓN LONGITUDINAL DEL FUSTE EN TRES ESPECIES ARBÓREAS

Eliel Abimael Caamal Luna, Noel Antonio González Valdivia,
Jorge Luis García Lanz, Brígido Manuel Lee Borges¹

Resumen

La determinación de la forma de los árboles es importante para mejorar las estimaciones de volumen, biomasa u otros atributos del arbolado. En los bosques tropicales de México estas características permanecen poco estudiadas y dificultan mejorar la precisión de las mediciones. Las técnicas usuales se basan en la destrucción de un elevado número de individuos, lo que no necesariamente es requerido en la cuantificación de atributos forestales. Con el objetivo de aportar soluciones, con esta investigación se exploró la posible utilidad de la fotografía de árboles en pie, auxiliada con reglas graduadas, en tres especies modelo: *Ceiba pentandra*, *Swietenia macrophylla* y *Tabebuia rosea*, en estimaciones de factores de forma (F.F) para la sección longitudinal del fuste. Este fue seccionado a intervalos de 1 m, según medidas auxiliares incluidas en las imágenes, que generan medidas a escala que luego se procesan con apoyo del programa Excel. Los resultados evidencian que el método propuesto estima de manera aceptable el factor de forma de cada especie a lo largo del fuste, como el promedio de disminución diamétrica de cada sección (en porcentaje), respecto al diámetro normal del árbol. Por último, es recomendable que, para mejorar el alcance de este método, se incremente el tamaño de la muestra y se aplique a diferentes clases diamétricas.

Palabras clave: Bosques tropicales, dendrometría, flora arbórea, volumen, México.

1. Instituto Tecnológico de Chiná, Calle 11, Chiná, CP. 24520 Campeche, Campeche, México. Correo: eliel_caamal09@hotmail.com, noel.gv@china.tecnm.mx, jorge.gl@china.tecnm.mx, brigido.lb@china.tecnm.mx

Abstract

The determination of the shape of the trees is important to improve estimates of volume, biomass or other attributes of the trees. In the tropical forests of Mexico, these characteristics remain little studied and make it difficult to improve the precision of the measurements. The usual techniques are based on the destruction of a large number of individuals, which is not necessarily required in the quantification of forest attributes. With the aim of providing solutions, this research explored the possible usefulness of standing tree photography, aided by graduated rulers, in three model species: *Ceiba pentandra*, *Swietenia macrophylla* and *Tabebuia rosea*, in estimates of form factors (FF) for the longitudinal section of the shaft. This was sectioned at intervals of 1 m, according to auxiliary measurements included in the images, which generate scale measurements that are then processed with the support of the Excel program. The results show that the proposed method acceptably estimates the shape factor of each species along the stem, as the average diameter decrease of each section (in percentage), with respect to the normal diameter of the tree. Finally, it is recommended that, to improve the scope of this method, the sample size be increased and applied to different diameter classes.

Keywords: Dendrometry, tropical forests, tree flora, volume, Mexico.

Introducción

Los factores o coeficientes de forma representan razones entre el volumen real de un árbol y el volumen de un cilindro teóricamente proyectado a partir del diámetro normal (tomado en el fuste a 1.3 m del suelo). Un factor de forma empleado en las zonas tropicales generaliza a 0.65 esta cualidad. La forma del fuste varía según cada especie y ambiente donde crezca, pero tienden a presentarse cuatro formas generales: neiloide, cónico, paraboloide y cilíndrico (Guzmán-Santiago *et al.*, 2020).

Conocer el factor de forma de una especie, permite el ajuste más exacto de volúmenes forestales, rendimiento y biomasa, que a su vez pueden mejorar las estimaciones alométricas del arbolado (Thomas *et al.*, 2006). Este conocimiento es aún limitado para las especies presentes en los trópicos. La determinación rigurosa de la forma arborea es costosa e implica la destrucción de muchos individuos (Aldana-Pereira *et al.*, 2021). Por tanto, el objetivo de este estudio es,

entonces, explorar si un método no destructivo permite la estimación de la sección longitudinal en fustes de árboles tropicales.

Metodología

El estudio se ubicó en los estados de Campeche y Quintana Roo, visitados para recabar datos y fotografías de los ejemplares de árboles de tres especies: *Ceiba pentandra*, *Swietenia macrophylla* y *Tabebuia rosea*, aplicando así un método no destructivo. El procesamiento de los datos, fotografías se llevó a cabo en el Instituto Tecnológico de Chiná, en el área del Laboratorio de agroecología y agricultura orgánica sustentable (LAAOS).

El método propuesto se basa en la mejor de al menos tres fotografías digitales de individuos en pie, visibilizando la mayor parte del eje longitudinal del tallo, desde la base hasta el ápice del árbol. Este procedimiento se repitió cuatro veces para cada una de tres especies: *Ceiba pentandra*, *Swietenia macrophylla* y *Tabebuia rosea*. Antes de tomar una foto, se ubicaron dos reglas graduadas en centímetros sobre el fuste, una vertical y otra transversal, de manera que se tuviesen medidas auxiliares de la altura y diámetro del árbol, en la imagen. Se midió el diámetro normal (DN, a 1.3 m desde la base).

La mejor foto fue impresa y sobre esta impresión se establecieron secciones sobre el eje longitudinal del fuste, apoyándose en las medidas auxiliares para situarlas a 1 m entre sí (Figura 1) De la misma manera, con apoyo en la regla transversal graduada se estimaron los diámetros de cada sección basados en la relación de proporcionalidad y extrapolación de escalas (centímetros en campo a milímetros en la imagen).

Una vez realizados estos cálculos, y marcados sobre la imagen, en cada individuo se determinó el decrecimiento diamétrico porcentual de cada sección, respecto al diámetro normal medido en campo, que también fue estimado con base en la imagen y representaba el valor de referencia para las medidas en las demás secciones. El promedio de estos valores de decrecimiento en el diámetro, ayudo a determinar la proporción de fuste que no es “real” para un individuo perteneciente a una especie botánica particular, independientemente de la clase diamétrica en que se ubique. El único valor mayor al de DN en este caso estará debajo de la lectura del DN en la imagen, es decir la primera sección de 1m estimada desde la base del árbol. En todos los casos, se estima el decaimiento en el área de la sección transversal

entre la distancia desde el extremo mayor hacia el de menor diámetro de la troza.



Figura 1. Utilización de medidas auxiliares en las imágenes fotográficas procesadas para estimar el factor de forma longitudinal.

Una vez establecidas las medidas de cada sección y comparadas con el DN, se proyectó el decrecimiento del diámetro a lo largo del fuste, y se promediaron las desviaciones y promediaron, para obtener una ponderación de la diferencia entre la forma del fuste así estimado respecto a la calculada para un cilindro teórico con diámetro igual al DN y la altura del fuste del árbol, ambos medidos en campo. Esta diferencia, expresada porcentualmente es la porción que se deduce de la medida convencional, y constituye el factor de forma de cada especie. Para verificar los resultados de este método no destructivo, se utilizó como comparadores a valores de factores de forma basados en la geometría euclidiana aplicada en la determinación de tipos dendrométricos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Factor de forma (f.f.) según la forma del fuste arbóreo Fuente: (Romahn de la Vega & Ramírez-Maldonado 2010)

Tipo Dendrométrico Del Fuste	Factor de Forma (f.f)
Cilindro	FF ≥ 0.85
Paraboloide apolónico	0.50 < FF < 0.85
Cono	FF = 0.50
Neiloide	FF < 0.50

Por último, se puede utilizar la estimación de ecuaciones de regresión individuales y también basadas en el promedio de los cálculos por secciones diamétricas a lo largo de los fustes, como una aproximación de la forma del fuste. En este caso, cada pendiente de regresión individual o promedio es un estimador de tendencia de la disminución diamétrica. Si se establece la diferencia entre este valor y la unidad, se tendrá otra estimación del factor de forma de las especies.

Resultados y discusión

La utilización de imágenes fotográficas para obtener factores de forma en las tres especies consideradas como tipos de prueba en este estudio, demostraron que la disminución del diámetro es una característica común para todas las especies involucradas. No obstante, se pueden detectar variaciones en esto en función de la especie y también de las dimensiones del árbol. De esta manera, en las tres especies modelo en este estudio presentan, con base en el método no destructivo propuesto, presentan formas en su sección longitudinal que coinciden con el tipo paraboloide: *Swietenia macrophylla* (FF = 0.72 ± 0.05) y *Tabebuia rosea* (FF = 0.79 ± 0.03) y entre paraboloide y cilíndrico en *Ceiba pentandra* (FF = 0.80 ± 0.08). En el cuadro 2 se describen los valores de disminución del diámetro por cada sección en los cuatro individuos que representaron a cada especie de árbol.

Cuadro 2. Valores de reducción diamétrica (en referencia al diámetro normal, DN, medido a 1.3 m), con base en medidas estimadas mediante un método no destructivo en tres especies arbóreas tropicales, elegidas como ejemplo (n =4 individuos/especie) en la Península de Yucatán, México.

Especie	Secciones/DN (cm)	Reducción diamétrica ponderada (%)	Promedio de reducción (%)	Factor de Forma
<i>Ceiba pentandra</i>	10 (76)	72	80 ± 8	0.80 ± 0.08 (0.72 a 0.88)
	10 (95.4)	82		
	8 (27.1)	77		
	11 (91.6)	90		

<i>Swietenia macrophylla</i>	10 (58)	75	72 ± 5	0.72 ± 0.05 (0.67 a 0.77)
	12 (106)	66		
	13 (104.8)	69		
	12 (94.7)	78		
<i>Tabebuia rosea</i>	7 (21)	77	73 ± 3	0.79 ± 0.03 (0.76 a 0.82)
	8 (47.2)	78		
	10 (51.9)	83		
	7 (50.1)	79		

Códigos: Secciones/DN (cm)= número de secciones de 1 m de largo en que se subdivide el fuste arbóreo, así como el diámetro normal medido a 1.3 m en el fuste desde el suelo (entre paréntesis). Reducción diamétrica ponderada (%)= promedio de la disminución en el diámetro de todas las secciones en que se divide el fuste de un árbol individual en relación con el DN. Promedio y desviación estándar de la reducción (%)= media aritmética de las reducciones diamétricas individuales. Factor de Forma= expresión en tanto por uno del promedio y desviación promedio, aplicable como estimación de la diferencia entre el cilindro teórico y la ajustada por reducción diamétrica, estimados árboles con altura y DN iguales (amplitud del factor de forma).

Los factores de forma del tallo en el eje longitudinal estimados con base en el método no destructivo propuesto, no coinciden con el FF establecido para *Swietenia macrophylla* en la región, descrita con un factor de ahusamiento de 0.47 (Hernández Ramos *et al.*, 2018a). Los factores de forma estimados para *T. rosea* muestran que este árbol tiene a una forma paraboloida a cilíndrica en la región de estudio, distinta a lo que mencionan Gutiérrez-Rodríguez *et al.* (2013) quienes consideran que es cónica (FF 0.27 a 0.39). Aparentemente el uso de ecuaciones que describen la forma del fuste con base en el método riguroso, con derribo de numerosos árboles tiende a disminuir el factor de forma, también denominado por algunos autores como de ahusamiento, respecto a los valores estimados por autoridades forestales nacionales en las décadas previas al 2000 (Aguilar-Rodríguez *et al.*, 2017).

Conclusiones.

El método no destructivo propuesto permite la estimación de factores de forma en la perspectiva longitudinal del fuste de árboles en pie, evitando su derribo, lo que es útil para estudios de biomasa y carbono, así como de estructura y otras características del arbolado en los bosques, al mismo tiempo que se evita la destrucción de estos.

Los resultados presentados en esta tesis representan evidencia del potencial de uso de este método, con la limitante de que ha sido realizado con muestras pequeñas, más deben comprobarse tanto la eficiencia como la consistencia de resultados por pruebas de campo con un tamaño mayor de muestra y comparando los resultados con ejemplos de mediciones rigurosas disponibles para especies bien conocidas en sus factores de forma, tanto en bosques naturales como en plantaciones.

El desarrollo de este método de medición facilita la captura de datos en campo y contribuye al desarrollo de aplicaciones necesarias para el manejo de los bosques tropicales de esta manera se calcula con mayor exactitud los volúmenes maderables presentes en la zona de Campeche, al igual que contribuye con clasificar las formas de los diámetros con el sistema demostrado, los diámetros del macizo forestal se puede asumir en los cálculos matemáticos de forma que representa en sus secciones longitudinales como transversales.

Literatura Citada

- Aguilar-Rodríguez, C. A., Sequeira-Guillén, A. F., & Peralta-Tercero, E. de J. (2017). Factor de forma para la *Tectona grandis* L.F. empresa MLR-Forestal, Siuna, Costa Caribe Norte de Nicaragua. *Revista Ciencia e Interculturalidad*, 21(2), 74-84.
- Aldana Pereira, E., Lores Pérez, Y., Aldana Pereira, E., & Lores Pérez, Y. (2021). Factor y cociente de forma preliminar de *Brachystegia floribunda* Benth. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 9(1), 124-139.
- Gutiérrez-Rodríguez, E., Moreno-Orjuela, R. D., & Villota-Echeverry, N. (2013). *Guía de cubicación de madera* (Primera). Corporación Autónoma Regional del Risaralda. http://www.rivasdaniel.com/pdf/GUIA_DE_CUBICACION_MADERA.pdf
- Guzmán-Santiago, J. C., Aguirre-Calderón, O. A., & Vargas-Larreta, B. (2020). Forest volume estimation techniques with special emphasis on the tropics. *Revista Chapingo Serie Ciencias Fores-*

tales y Del Ambiente, XXVI(2). <https://doi.org/10.5154/r.rchsc-fa.2019.07.061>

Hernández Ramos, J., Hernández Ramos, A., García Cuevas, X., Martínez Ángel, L., Tamarit Urías, J. C., García Espinoza, G. G., Hernández Ramos, J., Hernández Ramos, A., García Cuevas, X., Martínez Ángel, L., Tamarit Urías, J. C., & García Espinoza, G. G. (2018a). Sistema compatible de ahusamiento-volumen comercial para *Swietenia macrophylla* King (caoba) en Quintana Roo, México. *Madera y bosques*, 24(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431441>

Romahn de la Vega, C.F. & Ramírez Maldonado, H. (2010). *Dendrometría*.

Thomas, C., Andrade, C. M., Schneider, P. R., & Finger, C. A. G. (2006). Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. *Ciência Florestal*, 16, 319-327. <https://doi.org/10.5902/19805098191>

DETERMINACIÓN NO DETRUCTIVA DEL FACTOR DE FORMA EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE ÁRBOLES TROPICALES EN CAMPECHE, MÉXICO

Angel Alberto Moreno Tec, Noel Antonio González Valdivia, Jorge Luis García Lanz, Eliel Abimael Caamal Luna, Mónica Beatriz López Hernández¹

Resumen

En los bosques tropicales de México el coeficiente de forma de los árboles permanece poco conocido, lo que dificulta tener estimaciones precisas de los volúmenes y biomásas forestales. Para contribuir metodológicamente con la solución a este problema, se exploró un método no destructivo, basado en la medición con cinta diamétrica del diámetro normal (DN a 1.3 m), que proyecta al fuste del árbol como un cilindro, respecto a la figura más realista de esta sección, trazada con auxilio en un alambre flexible que contornea el perímetro del fuste a la misma altura en que se toma el DN. Esta “figura” luego es capturada fotográficamente. Luego se imprimen fotos y con ambas medidas, se traza en el primer caso un círculo con diámetro DN, centrado en el eje mayor de la figura que representa a la forma real. Se recortan piezas de papel cascarón, tanto con la forma circular como con aquella “realista”. Ambas se pesan con balanza analítica y por diferencia en las masas, se obtiene una aproximación del factor de forma de la sección transversal del árbol o coeficiente de forma (ff). Los resultados evidencian que el método propuesto parece describir la forma del árbol y el ajuste respecto al método convencional basado en DN como parte de un cilindro, en tres especies: *Ceiba pentandra*, *Swietenia macrophylla* y *Tabebuia rosea*, evitando la destrucción de

1. Instituto Tecnológico de México campus Instituto Tecnológico de China. Calle 11 S/N; China, Campeche, Campeche. C.P.24520. Correo: 117830315@china.tecnm.mx, noel.gv@china.tecnm.mx, jorge.gl@china.tecnm.mx, 117830261@china.tecnm.mx, monica.lh@china.tecnm.mx

individuos y, por tanto, puede aplicarse en estudios de campo, que no requieran derribar los árboles.

Palabras clave: Árboles, biomasa y volumen, bosques tropicales, dendrometría, México.

Abstract

In the tropical forests of Mexico, the shape coefficient of the trees remains poorly understood, which makes it difficult to have precise estimates of forest volumes and biomasses. To methodologically contribute to the solution to this problem, a non-destructive method was explored, based on the measurement with a diametric tape of the normal diameter (DN at 1.3 m), which projects the trunk of the tree as a cylinder, with respect to the most realistic figure. of this section, traced with the help of a flexible wire that outlines the perimeter of the shaft at the same height in which the DN is measured. This “shape” is then captured photographically. Then, printing photos and with both measurements, in the first case a circle with diameter DN is drawn, centered on the major axis of the figure that represents the real shape. Pieces of shell paper are cut out, both with the circular shape and with the “realistic” one. Thus, both them are weighed with an analytical balance and by difference in masses, an approximation of the shape factor of the cross section of the tree or shape coefficient (ff) is obtained. The results show that the proposed method seems to describe the shape of the tree and the fit with respect to the conventional method based on DN as part of a cylinder, in three species: *Ceiba pentandra*, *Swietenia macrophylla* and *Tabebuia rosea*, avoiding the destruction of individuals and, therefore, Therefore, it can be applied in field studies, which do not require felling the trees.

Keywords: Biomass and volume, dendrometry, Mexico, tree, tropical forests.

Introducción.

La determinación del coeficiente de forma en especies forestales de la zona de Campeche adquiere relevancia, debido a que hay muy poca información técnica o científica publicada o disponible al respecto, resulta incompleta o desactualizada para su empleo en la estimación de volúmenes maderables en las selvas o bosques tropicales (Trejo-Torres & D.-Gann, 2016). En un bosque natural o en una plantación se observa que existe naturalmente una alta variación en

las formas del tallo desde la base al ápice del árbol. Comúnmente, el diámetro disminuye, adelgazamiento que es la razón fundamental en la variación del volumen del árbol y depende de la especie, edad y condiciones de sitio (Imaña-Encinas, 1998).

Las técnicas empleadas para la estimación de volúmenes de madera o de biomasa, usualmente emplean el diámetro normal (DN), como medida para estimar el volumen del árbol, lo que implica un error, debido a que se asume que el fuste es un cilindro perfecto, lo que nunca es realista. Además, no siempre se puede tener un fuste de forma lisa y perímetro no afectado por hendiduras o invaginaciones en la sección transversal, mismas que afectan aún más la verdadera forma del árbol. Por otro lado, para no derribar los árboles, se pueden explorar técnicas de exploración no destructivas, para obtener información sobre coeficientes de forma (ff) para cada especie, alternativas a los métodos destructivos usualmente empleados (Niño Lopez et al., 2018).

Los diámetros y circunferencias son considerados como medidas fundamentales en la dendrometría, por servir de base para cálculos y estimaciones de volumen de madera, índices de crecimiento, diversos sistemas de clasificación. En la dendrometría práctica los diámetros pueden ser clasificados como cilíndricos, cilíndricos deformes, elípticos, cónicos, cónicos deformes y de forma irregular (Romahn-de la vega & Ramírez- Maldonado, 2010). Estas formas, entonces afectarán la estimación del volumen y también de la biomasa del árbol.

La finalidad de explorar métodos alternativos a la cubicación rigurosa, se justifica en la obtención de datos (resultados reales de factor de forma para cada especie en específica) sin destruir ni perturbar la vegetación arbórea en un determinado sitio y proveyendo datos útiles para otras investigaciones forestales (Tamarit Urias et al., 2017) limbing and sectioning.

Metodología

La investigación consistió en visitar varios lugares de la península de Yucatán, para recabar datos y fotografías de tres especies de árboles tropicales, y luego utilizar estos recursos como insumos en la aplicación de un método no destructivo. El procesamiento de los datos y fotografías se llevó a cabo en el Laboratorio de Agroecología y Agricultura Orgánica Sustentable (LAAOS), del TecNM campus Instituto Tecnológico de Chiná, en Campeche.

El método de determinación del factor de forma del fuste arbóreo en su sección transversal (Diámetro normal a 1.3 m y su correspondiente área basal), con corteza, propuesto se basa en la fotografía de individuos en pie, de forma que se aprecie la forma de la sección transversal obtenida por medio de un alambre grueso flexible (aluminio), que permite el moldeado del perímetro del tronco, a la altura de 1.3 m o donde se mide también el diámetro normal, en función de los casos descritos en la sección del marco teórico. Para este estudio se utilizó una cámara digital Fujifilm Finepix S4800, con la cual se tomaron al menos tres fotos, eligiendo la mejor para cada individuo de cuatro que fueron incluidos por cada una de tres especies modelo: *Ceiba pentandra*, *Swietenia macrophylla* y *Tabebuia rosea*.

Antes de tomar una foto, se ubicó una regla graduada en centímetros sobre la representación de la forma transversal, de manera que se tuviese medida auxiliar respecto al diámetro del árbol, en la imagen. Se midió el diámetro normal (DN, a 1.3 m desde la base) para estimar el área del círculo del individuo, como la de un cilindro teórico, utilizando formulas comunes en dendrometría. Con la imagen de la forma real tomada con el alambre, así como la del círculo trazado con el DN medido en campo, se recortaron dos piezas de cartón cascarón, representándolas a la misma escala. Se obtuvieron ambas masas por balanza analítica y la diferencia entre la masa de la figura del círculo menos las de la “realista”, aproximaron la pérdida de área o factor de forma en la sección transversal del tallo a 1.3 m.

Resultados y discusión

Estimaciones por contraste comparativo: La utilización de imágenes fotográficas para obtener factores de forma en las tres especies consideradas como tipos de prueba en este estudio, demostraron que la forma cilíndrica es una característica común para todas las especies involucradas. En el cuadro 1, se describen los resultados.

Cuadro 1. Factores de forma de la sección transversal del tallo arbóreo, estimada por diferencia de masas entre cilindro teórico basado en DN y la forma real del fuste, establecida con auxilio de alambre flexible moldeando el perímetro del árbol a 1.3 m desde el suelo.

Especie	DN en cm.	Método de diferencia de masas	Promedio ff transversal
Ceiba pentandra	27.7	99.08 (0.99) a	0.91
	76	85.68 (0.86) a	
	87.3	91.96 (0.92) a	
	95.4	87.40 (0.87) b	
Swietenia macrophylla	58	97.85 (0.98) a	0.90
	95.8	98.81 (0.99) a	
	104.8	98.54 (0.99) a	
	106	64.67 (0.65) a	
Tabebuia rosea	21	84.62 (0.85) a	0.94
	47.2	98.37 (0.98) a	
	48.5	99.76 (0.99) a	
	51.9	93.73 (0.94) a	

En todas las especies se tiene una pérdida relativamente reducida de área en la sección transversal (disminución $\leq 10\%$). Entre especies hay ligeras variaciones, y la reducción demuestra pérdidas de entre el 6 (*Tabebuia rosea*) y el 10% (*Swietenia macrophylla*), respecto a las dimensiones del cilindro que se proyecta para el tallo con base en la lectura del diámetro normal del fuste (DN).

Las descripciones de fustes arbóreos expresan las características de tres especies muy presentes en selvas, denotando un aporte en las metodologías de estimación de volúmenes y biomásas arbóreas individuales en pie tomando como referencia especies de importancia Científica y social.

Conclusión.

La obtención de datos utilizada para el cálculo de *ff.* ajustan hasta en 10% las mediciones obtenidas, al contrastar las diferencias entre

masas de recortes de cartoncillo equivalentes a las figuras del cilindro teórico basado en el DN y las que resultan de recortar en contorno siguiendo la verdadera forma del fuste en su perímetro. Además, no resulta necesario destruir los árboles para lograr aproximaciones aceptables por métodos basados en la fotografía del fuste y su procesamiento en gabinete.

Los factores de forma en esta sección se encuentran limitadas en estudios publicados o abordados por lo que describir el método para precisar las mediciones evidenciaría una forma no destructiva en la metodología de medición del Diámetro normal en su forma real.

Literatura citada

- Imaña-Encinas, J. (1998). *Dasometría práctica*. Universidad de Brasil.
- Niño Lopez, G. S., Ramos Molina, P. A., Barrios Trilleras, A., & López Aguirre, A. M. (2018). Modelos compatibles de ahusamiento-volumen para árboles de *Gmelina arborea* Roxb. En el Alto Magdalena, Colombia. *Colombia forestal*, 21(2), 174-187. <https://doi.org/10.14483/2256201X.12249>
- Romahn-de la vega, C. F. R. la, & Ramírez- Maldonado, H. (2010). *Dendrometría* (División de Ciencias Forestales). Universidad Autónoma de Chapingo.
- Tamarit Urias, J. C., Rojas Díaz, E., Quiñonez Barraza, G., Ordoñez Prado, C., & Monárrez González, J. C. (2017). Sistema de cubicación para árboles individuales de *Quercus* sp. En bosques bajo manejo de Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(40), 69-88. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i40.37>
- Trejo-Torres, J. C., & D.-Gann, G. (2016). Los Árboles del Mayab (Campeche, Quintana Roo y Yucatán): Una Lista para Usarse. *Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.*, 136-138, 3 pp.

SUPERVIVENCIA DE PLANTACIONES FORESTALES EN LA SIERRA SUR DE OAXACA

Celestino Sandoval García¹, Celestino Flores López², Juana Laura Rivera Nava¹, Rolando Galán Larrea, Gricelda Valera Venegas¹

Resumen

En la región de la Sierra Sur del estado de Oaxaca se han establecido plantaciones forestales en pequeñas superficies por pequeños propietarios en las últimas décadas, en áreas que durante muchos años fueron para uso agrícola, en áreas que originalmente fueron boscosas, pero que nuevamente se están convirtiendo al uso forestal. El objetivo del estudio fue evaluar la supervivencia de plantaciones de pinos establecidas en diferentes años. El área de estudio se encuentra en el predio Río San José, municipio de San Sebastián Río Hondo, distrito de Miahuatlán, Oaxaca. Para evaluar la supervivencia se realizó un muestreo sistemático, empleando sitios circulares de 100 m² con una intensidad de muestreo de 2.83 %, a una equidistancia entre sitios de 40.5 m, en el cual se realizó el conteo directo de los árboles vivos y muertos. Los resultados muestran que las plantaciones establecidas en el año 1994, 1995, 2001 y 2002, presentaron una supervivencia de 77.40 %, 71.79 %, 69.14 % y 77.24 % respectivamente, la cual fueron similares a los reportados para la región, pero superiores a los resultados de otros estados del país. La plantación establecida en el año 2001 mostró la menor supervivencia y la establecida en el año 1994 presentó la mayor supervivencia.

Palabras claves: *Pinus pseudostrobus*, *Pinus oaxacana*, pequeños propietarios, uso agrícola.

1. Universidad del Mar, Puerto Escondido, km 2.5 carretera Puerto Escondido-Sola de Vega, San Pedro Mixtepec, código postal 71980, Oaxaca, México.

2. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, calzada Antonio Narro 1923, colonia Buenavista, código postal 25315, Buenavista, Saltillo, Coahuila. correo: celestinosandoval@gmail.com

Abstract

In the Sierra Sur region of the state of Oaxaca, forest plantations have been established on

small surfaces by small landowners in recent decades, in areas that for many years were for agricultural use, in areas that were originally forested, but that are again being converting to forest use. The objective of the study was to evaluate the survival of pine plantations established in different years. The study area is in the Río San José property, municipality of San Sebastián Río Hondo, district of Miahuatlán, Oaxaca. To evaluate survival, a systematic sampling was carried out, using circular sites of 100 m² with a sampling intensity of 2.83 %, at an equidistance between sites of 40.5 m, in which the direct count of live and dead trees was performed. The results show that the plantations established in the years 1994, 1995, 2001 and 2002, presented a survival of 77.40%, 71.79%, 69.14% and 77.24% respectively, which were similar to those reported for the region, but higher than those reported for the region. results from other states of the country. The plantation established in 2001 showed the lowest survival and the one established in 1994 had the highest survival.

Keywords: *Pinus pseudostrobus*, *Pinus oaxacana*, smallholders, agricultural use

Introducción

La creciente demanda de productos forestales y la relativa baja productividad de las masas forestales naturales en nuestro país plantean la necesidad del establecimiento de plantaciones forestales (Martínez Salvador y Prieto Ruíz, 2011; CONAFOR, 2012). En la Sierra Sur del estado de Oaxaca, aproximadamente el 5% de la superficie boscosa es de pequeña propiedad, por lo que están más marginados a apoyos gubernamentales y de asistencia técnica. Sin embargo, en las últimas décadas se han establecido plantaciones forestales comerciales en áreas que fueron dedicadas a la agricultura y ganadería pero que originalmente eran de vocación forestal, por lo que es necesaria la evaluación de la supervivencia para conocer la respuesta de las especies establecidas en plantaciones forestales comerciales. El objetivo del presente estudio es evaluar la supervivencia de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus oaxacana* establecidas en diferentes años en el predio Río San José, San Sebastián Río Hondo, Oaxaca.

Metodología

Descripción del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicado en la Sierra Sur del estado de Oaxaca, en el predio Río San José, Municipio de San Sebastián Río Hondo, distrito de Miahuatlán, Oaxaca. En las coordenadas 16° 09' 58.3" y 16° 09' 58.3" LN, 96° 23' 08.6" y 96° 24' 12.1" LO. El tipo de clima que presenta es C (w); semifrío subhúmedo, con verano fresco y largo (García, 2004). Pertenece a la región hidrográfica RH-21, Cuenca Río Copalita (INEGI, 2014).

Las plantaciones fueron establecidas por los dueños del predio Río San José en el año 1994, 1995, 2001 y 2002, en superficies de 4.78, 2.54, 4.40 y 6.16 hectáreas respectivamente. Los árboles fueron establecidos en cepas de 30 x 30 x 30 cm y a una equidistancia promedio entre árbol y árbol de 2.50 metros. Ante la necesidad de conocer la respuesta de las plantaciones, se realizó la presente investigación para determinar la supervivencia, en el cual se empleó un muestreo sistemático con una intensidad del 2.83%, en sitios circulares de 100 m², con equidistancia de 40.5 metros, en el cual se registraron los árboles vivos y muertos. Una vez realizado el inventario se procedió a la captura y procesamiento de los datos, empleando la siguiente ecuación para la determinación de la supervivencia de las plantaciones establecidas (CONAFOR-SEMARNAT,2003).

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

Donde:

P= Proporción estimada de árboles vivos

ai = Número de árboles vivos

mi = Número de árboles plantados en la parcela i

Resultados y Discusión

Con base en la evaluación realizada se obtuvieron los siguientes resultados de supervivencia que se presentan en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Porcentaje de supervivencia de plantaciones forestales.

Especie	Año de establecimiento	Supervivencia %
<i>Pinus oaxacana</i> Mirov y <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	1994	77.40
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	1995	71.79
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	2001	69.14
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	2002	77.24

La supervivencia de las plantaciones evaluadas se considera como buenas, dado que las especies establecidas se encuentran dentro del área de distribución natural. El porcentaje de mortalidad se debió principalmente al pastoreo. Para reducir la mortalidad en plantaciones forestales, algunos autores como Capó (2001) y UCODEFO No. 2 (2003) quienes recomiendan las siguientes acciones: capacitar al personal que produce, maneja y realiza la plantación, cercar las áreas plantadas para evitar el pastoreo, plantar en temporada de lluvia de la región o zona de plantación, seleccionar el mejor método de producción de planta, así como de la plantación, labores culturales para el control de la vegetación competidora, entre otras. Además, Martínez Salvador y Prieto Ruiz (2011), mencionan que es importante determinar el potencial de los sitios para el establecimiento de las plantaciones, así como de las especies a establecerse. Los resultados obtenidos de supervivencia fueron superiores a los reportados por Domínguez *et al.* (2001), de los Ríos *et al.* (2003) y Sigala Rodríguez *et al.* (2015), para diferentes especies de pinos y en varios estados del país.

Conclusiones

La supervivencia promedio de la plantación de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus oaxacana* establecidas en diferentes años en el predio Río San José fue de 73.89 %, lo cual se considera como bueno, y que las especies han respondido de manera adecuada ya que se encuentran dentro su área de distribución natural.

Literatura Citada

Capo-Arteaga, M. A. (2001). Establecimiento de plantaciones forestales. Los ingredientes del éxito. UAAA. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 207 p.

CONAFOR (2012). Programa de Desarrollo de Plantaciones Foresta-

les a 15 años de su creación. Comisión Nacional Forestal. Zapopan, Jal., México. 198 p.

CONAFOR-SEMARNAT (2003). Manual para la verificación de la propuesta técnica forestal y ambiental de los beneficiarios del PRODEPLAN (aspectos técnicos). Gerencia de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales. México. 26 p.

de los Ríos, E., Navar, J. Domínguez, P. A. y De Hoogh, R. (2003). Evaluación de plantaciones del género *Pinus* en el Nordeste de México. In. VI Congreso Mexicano de Recursos Forestales. SOMEREF. Universidad Autónoma de San Luis, México. Pp. 345-346.

Domínguez C., P. A., J. Navar C. y Loera O, J. A. (2001). Comparación del rendimiento de pinos en las reforestaciones de sitios marginales en Nuevo León. *Madera y Bosques* 7 (1): 27-35.

García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Serie Libros, Núm. 6. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México. D. F. 97 p.

INEGI (2014). Cartas topográficas. Carta E14D88. Instituto Nacional de Estadística y Geografía Escala 1:250 000. México.

Martínez Salvador, M, & Prieto Ruiz, J. A. (2011). Determinación de Áreas Potenciales para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales en la región norte de México. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*. Folleto Técnico No. 47. 17 p.

Sigala Rodríguez, J. Á., González Tagle, M. A., & Prieto Ruiz, J. Á. (2015). Supervivencia en plantaciones de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en función del sistema de producción y preacondicionamiento en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(30), 20-31.

UCODEFO No. 2. (Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal) (2003). Resultados de la evaluación de las plantaciones forestales de la región Hidalgo-Zinapécuaro. Comisión Forestal del Estado de Michoacán. Boletín Técnico No. 6. Vol. 1. 20 p.

GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE *Stenocereus gummosus* CON TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS DE GIBERELINAS (GA₃) EN CONDICIONES *in vitro*

Gustavo Alonso Luna Zuñiga¹, Jorge Luis Delgadillo Ángeles², Salvador Ordaz Silva², Felipe Neri Hernández Soto³, Imelda Virginia López Sánchez², José Guadalupe Pedro Mendez²

Resumen

Stenocereus gummosus es una planta endémica del estado de Baja California, ésta cactácea aporta un incentivo económico y alimenticio a las comunidades locales gracias a su fruto, la recolecta masiva de esta fruta afecta al ciclo natural de la planta ya que la germinación de esta semilla en un ambiente natural se realiza mediante la ingesta de aves y diversos mamíferos y por medio de la digestión, las semillas sufren un proceso de escarificación, el cual sirve para aumentar su tasa germinativa de manera silvestre. Motivo por el cual, el presente trabajo se centró en evaluar tratamientos con ácido giberélico en semillas que han estado almacenadas durante cinco años, llevando a cabo una evaluación del porcentaje de germinación para determinar si hay pérdida de la viabilidad de acuerdo con el tiempo de almacenamiento. Se llevaron a cabo cinco tratamientos de la siguiente manera: testigo (agua destilada), y cuatro diferentes concentraciones de ácido giberélico (250, 1000, 5000 y 10000 ppm); una vez que se expusieron las semillas a estas concentraciones, se sembraron de manera *In vitro* en medio MS al 50%. La tasa de germinación observada en las semillas

fue muy baja, demostrando que no existe una diferencia significativa con los tratamientos realizados, lo cual se le atribuye en este estudio al tiempo de almacenamiento de las semillas, dejando a los embriones sin potencial germinativo.

Abstract

Stenocereus gummosus is an endemic plant of the state of Baja California, this cactus provides an economic and nutritional incentive to local communities thanks to its fruit, the massive collection of this fruit affects the natural cycle of the plant since the germination of this seed in a natural environment is achieved through the ingestion of birds and various mammals and through digestion the seeds undergo a scarification process, which serves to increase their germination rate. That is why this work focused on evaluating treatments with gibberellic acid in seeds that were stored for 5 years, it carried out an evaluation of the germination percentage to determine if there is loss of viability. Five treatments are carry out as follows; a control (distilled water), and four different concentrations of gibberellic acid (250, 1000, 5000 and 10000 ppm); once the seeds were exposed to these concentrations, they were sown *in vitro* in 50% MS medium. The germination rate observed was very low, showing that there is no significant difference with the treatments carried out, which is why it believe that these results are due to the storage time of the seeds, leaving the embryos without germination potential.

Palabras Clave: Ácido Giberélico, Escarificación, Fruto, Semillas, Tratamientos.

Introducción

La familia Cactácea es endémica del Continente Americano, con una distribución que va desde el norte de Canadá hasta la Patagonia Argentina. Esta familia comprende aproximadamente 2000 especies, las cuales se agrupan en tres subfamilias: Pereskioideae, Opuntioideae y Cactoideae (Gómez, 2004).

Dentro del territorio mexicano se encuentran alrededor de 850 especies de cactáceas, de las cuales 400 son endémicas del país. Debido a las condiciones de latitud, clima y topografía, México es posiblemente el país con la mayor cantidad de especies (Bravo-Hollis, 1978). Gran parte de las especies de cactáceas se han categorizado como amenazadas o en peligro de extinción, debido a que en la naturaleza

1. Estudiante de intercambio de la Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco. Calzada del Hueso 1100, Coapa, Villa Quietud, Coyoacán. CP 04960 Ciudad de México.

2. Facultad de Ingeniería y Negocios San Quintín. Campus Ensenada. Universidad Autónoma de Baja California, Carretera Transpeninsular Sin número Km 180.2 Ej. Padre Kino. CP 22930. San Quintín, Baja California, México.

3. Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo, Carretera Federal Valle de Bravo Km 30, Ejido San Antonio Luna, CP 51200, Valle de Bravo, Estado de México. Correo: 2193071173@alumnos.xoc.uam.mx

tienen un desarrollo lento, no se auto polinizan, presentan propagación vegetativa mínima o nula, sus semillas son alimento para roedores, aves e insectos, la destrucción de su hábitat, plagas, así como la sobre colecta de estos especímenes y de sus frutos (Gómez, 2004).

Una de las especies endémicas y más abundante en el estado de Baja California es *Stenocereus gummosus*, comúnmente conocida como pitaya de Baja California, o pitaya agria (Lozano, 2013). La tradición de esta cactácea es debido a que su fruto es comestible y es en cierto grado comercializable en algunas regiones de la península de Baja California, es fuente de alimento para animales y humanos (León y Cadena, 1991). *S. gummosus* es un cactus que presenta un crecimiento ramificado bastiónica o decumbente presentando hasta cientos de ramas por individuo, formando matorrales espinoso con un tamaño de hasta 10 m de diámetro y una altura que va desde uno y hasta los 3 metros de alto, las flores son de color blanco o rosado pálido midiendo hasta 6 cm de ancho y 11 de largo, estas flores presentan antesis nocturna, la cual solo dura una noche, y por la mañana se abren en busca de la polinización, estos cactus florecen en los meses de Julio y Septiembre, para dar lugar a los frutos en los meses de Agosto y Noviembre (Lozano, 2013).

Generalmente se emplean diferentes tipos de métodos de propagación para la reproducción de cactáceas, como la germinación de semillas y la reproducción asexual, en la presente investigación se llevó a cabo mediante el primer método mencionado, mismo que presenta dos características principales en la reproducción de las plantas; la germinación se realiza en un frasco de vidrio en un ambiente artificial, la asepsia, así como el control total de los factores que afectan el crecimiento de la planta (Castillo, 2004).

Para la germinación se emplearon métodos pre germinativos ya que existen diferentes tratamientos que pueden acelerar el proceso de germinación o interrumpir el estado de latencia, uno de estos procesos es la escarificación química, la cual consiste en remojar las semillas en compuestos como pueden ser: tween, agua oxigenada, alcohol etílico o ácido clorhídrico (Villanueva et al. 2015.). El uso de fitorreguladores como auxinas, citoquininas y giberelinas, ayudan a regular la división y elongación celular, acelerando o inhibiendo la germinación, crecimiento de raíces y plantas, así como influir en el proceso de germinación; el cual, está mediado por el efecto antagónico de giberelinas y ácido abscísico, pues mientras las giberelinas promueven el rompimiento del estado de latencia de las semillas, el

ácido abscísico promueve la dormancia (Castro et al. 2019).

Metodología

Se establecieron 500 semillas con un tiempo de almacenamiento de poco más de 5 años, las cuales fueron desinfectadas con cloro comercial a una concentración de 10%, colocadas en un agitador eléctrico por 20 minutos y enjuagadas con agua destilada estéril antes de exponerlas al Ácido Giberélico.

Se utilizó medio de cultivo MS al 50 % descrito para cultivo de tejidos vegetales (Pérez Molphe et al. 1999). Se realizaron diez tratamientos, en los cuales se utilizaron diferentes concentraciones de giberelinas, así como diferentes tiempos de exposición con cinco repeticiones cada uno. Los tratamientos evaluados fueron: 0, 250, 1000, 5000 y 10000 ppm, aforados a 50 ml de agua destilada. Utilizando una presentación de giberelinas en líquido de la marca N-Large®. Las concentraciones se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos de semillas.

Tratamiento	Tiempo de Exposición	PPM
T01	2 min	0
T02	10 min	0
T11	2 min	250
T12	10 min	250
T21	2 min	1000
T22	10 min	1000
T31	2 min	5000
T32	10 min	5000
T41	2 min	10000
T42	10 min	10000



Figura 1. Proceso de siembra In vitro.

Resultados y Discusión

Se obtuvieron un total de 11 semillas germinadas de los tratamientos evaluados, resultados que se muestran en la Cuadro 2. Se puede observar que el tratamiento con mayor número de semillas germinadas fue el testigo a los 10 y 2 minutos de exposición con 4 y 2, respectivamente.

Cuadro 2. Resultados de Germinación

Tratamientos	Semillas Germinadas
T ₀ 1	2
T ₀ 2	4
T ₁ 1	1
T ₁ 2	1
T ₂ 1	0
T ₂ 2	1
T ₃ 1	1
T ₃ 2	0
T ₄ 1	0
T ₄ 2	1

Discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos por Canseco (2021), quien reporta un 53 % de germinación utilizando el mismo método empleado en esta investigación, datos muy diferentes y que nos indican la pérdida de viabilidad de la semilla a través del tiempo, sin embargo, los datos más altos también fueron obtenidos en el tratamiento testigo y con 10 minutos de exposición en agua estéril, lo que nos indica que la semilla no requiere de tratamientos especiales de escarificación para inducir su germinación en condiciones controladas. Para poder tener buenos métodos de preservación de germoplasma de esta especie se deben buscar otras estrategias para su conservación ya que las semillas reducen drásticamente su potencial de germinación como observamos en esta investigación. Cabe destacar que el almacenamiento se

llevó a cabo en condiciones ambientales, donde la temperatura y la humedad son muy variables.

El ácido giberélico no influyó de manera significativa para aumentar su germinación, por lo cual se sugieren nuevos tratamientos y más estudios para observar el comportamiento respecto a la viabilidad a través del tiempo de esta especie.

Conclusiones

Las semillas con más respuesta fueron las del tratamiento testigo expuestas a 10 minutos al agua destilada, teniendo un número total de cuatro semillas germinadas, seguidas por el tratamiento marcado como testigo con 2 minutos de exposición al peróxido de hidrógeno con dos semillas germinadas, posteriormente el tratamiento con 250 ppm con 10 y 2 minutos de exposición obteniendo 1 semilla germinada por cada uno de ellos, las semillas expuestas a una concentración y tiempo de 1000 ppm a 10 minutos, 5000 ppm a 2 minutos y 10000 ppm a 10 minutos tuvieron solo 1 semilla germinada por cada tratamiento, tal como se muestra el Cuadro 2.

Se puede observar un número limitado de semillas germinadas, esto es debido al tiempo de almacenamiento de las mismas el cual es superior a los 5 años, ya que la literatura nos indica que la viabilidad de las semillas de esta especie de cactus no es mayor a un año, sabiendo esto, es importante mencionar que los procesos de germinación *in vitro* pueden ser un factor importante para forzar la germinación en semillas viejas, logrando tener una utilidad de algún número aunque limitado de germoplasma para de esta manera poder preservar especies que se encuentren en peligro de extinción o amenazadas. El almacenamiento de semillas no presentó las condiciones adecuadas, principalmente de temperatura y humedad, lo cual nos da pauta a probar diferentes temperaturas para su almacenaje.

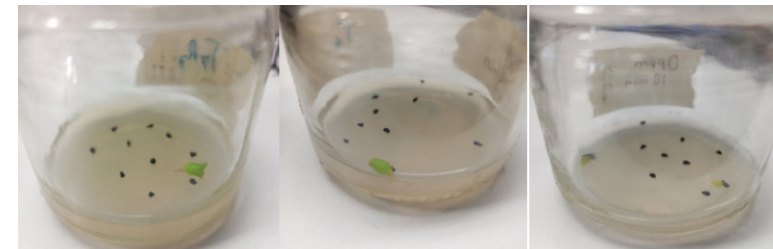


Figura 2. Semillas de pitaya germinadas.

Literatura citada

- Alcántara, J. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal.
- Bravo Hollis, H., & Sánchez Mejorada, H. (1978). *Las cactáceas de México* (No. C/583.470972 B7/v. 1/1978).
- Canseco, C. R. (2021). Evaluación de tratamientos de escarificación de semilla de *Stenocereus gummosus* y su germinación *in vitro* y sustrato peat moss.
- Castillo, A. (2004). Propagación de plantas por cultivo *in vitro*: una biotecnología que nos acompaña hace mucho tiempo. *INIA, Uruguay*.
- Eugenio, M. P. M. B.; Ramírez, M. R., Núñez, P. H. G., Ochoa, A. N. (1999). Introducción al cultivo de tejidos vegetales. Aguascalientes, Ags.: Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- León de la L, J. L., y Cadena, R. D. (1991). Evaluación de la reproducción por semilla de la pitaya agria (*Stenocereus gummosus*) en Baja California Sur, México. *Acta Botánica Mexicana*, 14, 75-87.
- Lozano, G. O. A. (2013). Análisis de la estructura genética poblacional de la pitaya agria (*Stenocereus gummosus*) en el Desierto Sonorense.
- Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. 1ra. Edición digital, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

APROVECHAMIENTO DEL RECURSO BAMBÚ EN EL MARCO DE LA BIOECONOMÍA

Juan Quintanar Olguin¹

Resumen

La bioeconomía es un nuevo enfoque de la economía que enfatiza la utilización eficiente y sustentable de los procesos de producción y procesamiento de la biomasa para obtener una gran variedad de productos, incluidos alimentos para humanos y animales, nuevos bioproductos industriales, biomateriales, bioenergía y servicios ecológicos, mediante la incorporación tecnologías asociadas a su conocimiento, desarrollo, emulación, transformación o regeneración, a efecto de proveer bienes y servicios. Por lo que, el recurso bambú, al ser un material versátil, que posee múltiples usos y facilidad de transformación en diferentes productos, ligero, resistente y con capacidad de crecer a una velocidad alta generando volúmenes altos de biomasa, que debe aprovecharse aplicando el concepto bioeconomía en el sentido más amplio, diversificando la utilización de todas las partes del bambú (tallos, hojas, vainas, raíces y rizoma) en el desarrollo de nuevos productos, dado que la biomasa a partir de bambú cuenta con diversas cualidades como ser: eco-amigable, resistente, hipo alergénico, antibacteriano y antimicótico, alta capacidad de absorción y alta capacidad térmica.

Abstract

Bioeconomy is a new approach to economics that emphasizes efficient and sustainable use of biomass production processing and processes to obtain a wide variety of products, including food for humans and

1. C. E. San Martinito, CIRGOC –INIFAP. quintanar.juan@inifap.gob.mx

animals, new industrial bioproducts, biomaterials, bioenergy and ecological services, through the incorporation of technologies associated with their knowledge, development, emulation, transformation or regeneration, in order to provide goods and services. Therefore, the bamboo resource, being a versatile material, which has multiple uses and ease of transformation into different products, light, resistant and capable of growing at a high speed generating high volumes of biomass, which must be used by applying the concept bioeconomy in broadest sense, diversifying the use of all parts of bamboo (stems, leaves, pods, roots and rhizome) in the development of new products, given that biomass from bamboo has various qualities such as: eco-friendly, resistant, hypoallergenic, antibacterial and antifungal, high absorption capacity and high thermal capacity.

Palabras clave: bioecología, bioprocesos, biorecursos

Introducción

El bambú es una planta gramínea, que en el contexto mundial se clasifica como un producto forestal no maderable y agroforestal, distribuido prácticamente en todos los ecosistemas del mundo. En la actualidad, se reconocen 121 géneros y 1 662 especies de bambúes (Canavan, 2017). En México, existen ocho géneros y se han consignado 54 especies nativas de bambú, de las cuales 31 son endémicas de México. Chiapas con 33 especies, es el estado con mayor diversidad de bambú. De las 54 especies nativas: cuatro herbáceas y 50 leñosas, distribuidas en la mayoría de los estados, con excepción de Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Coahuila y Tlaxcala (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2015).

El recurso bambú es un material versátil dado que posee múltiples usos y facilidad de transformación en diferentes productos, ligero, resistente y con capacidad de crecer a una velocidad alta generando volúmenes altos de biomasa. Industrializar la biomasa significa capturar la energía libre, convertirla en biomasa para transformarla en alimentos, energía y bioinsumos (biomateriales), además de recapturar los desperdicios de cualquiera de esos procesos para reconvertirlos en materia prima. Esto genera que sea un recurso para una alta diversificación productiva y de agregación de valor, bases fundamentales del concepto bioeconomía (Hodson, 2018; Urmetzer *et al.*, 2020).

Si bien no existe un concepto único de Bioeconomía, la definición global más reciente, ajustada en la Cumbre Mundial de Bioeconomía

2018 (Global Bioeconomy Summit - GBS, 2018) menciona que “la bioeconomía es la producción, utilización y conservación de recursos biológicos, incluido el conocimiento relacionado, la ciencia, la tecnología y la innovación, para suministrar información, productos, procesos y servicios en todos los sectores económicos, en busca de una economía sostenible”. Este concepto tiene sus raíces en la idea de que los insumos industriales deben derivarse de recursos biológicos renovables, con investigación e innovación que permitan el proceso de transformación en bienes de mayor valor mediante el procesamiento y la comercialización en el mercado (Cosna, 2019). Por lo tanto, la premisa central es dar el máximo aprovechamiento a los recursos naturales en productos maximizando su vida útil, promoviendo la producción en cascada, en ciclos cerrados y eliminando el concepto de residuo (Stegmann *et al.*, 2020). Además, otra característica fundamental de la bioeconomía es el uso sostenible de los recursos biológicos a partir de una amplia gama de tecnologías de punta (Keswani, 2020).

La base para insertar el concepto de bioeconomía en un proceso de desarrollo teniendo como actor principal al recurso bambú, es mediante la implementación de avances científicos y tecnológicos en el proceso productivo para fortalecer las cadenas y las redes de valor. Una cadena de valor en bioeconomía incluye desde la producción primaria de los recursos biológicos (biomasa), su procesamiento y su transformación en bienes de mayor valor y su introducción en el mercado, lo cual involucra diversos sectores y aglutina numerosas disciplinas y actores (Hodson, 2018), dejando atrás el uso y consumo lineal del recurso, en este caso, solo teniendo como principal y único producto los culmos de bambú. Ante la poca diversificación y la baja eficiencia de utilización de la biomasa de bambú como materia prima, en el presente estudio se propone apoyar y evaluar mediante el uso del concepto amplio de bioeconomía, el desarrollo y aprovechamiento de la biomasa de bambú.

Metodología

El presente estudio es de tipo exploratorio, analítico y descriptivo. Se desarrolla en base a revisión bibliográfica acerca del concepto de bioeconomía y su aplicación a la cadena productiva del bambú. Para el mismo, se revisaron diferentes fuentes de información, tales como artículos científicos publicados en torno al tema y literatura producida por organismos internacionales.

Resultados y Discusión

Los bambúes han representado desde tiempos ancestrales importantes recursos naturales en los entornos rurales como fuente de material constructivo, protección, alimento y fuente de ingresos, además de tener presencia en expresiones culturales y religiosas alrededor del mundo.

El bambú en general destaca por las siguientes propiedades: dureza, capacidad de flexión, tensión, durabilidad, propiedades alimenticias, acelerado crecimiento y rendimiento. Sin embargo, a pesar de su versatilidad, ha tenido problemas en el ingreso al mercado urbano, ya sea como material de construcción, materia prima para muebles, utilitarios, entre otros. Actualmente en México, el uso principal de las especies de bambú es para la construcción, generalmente vivienda de tipo rústico.

La parte de las especies de bambú que más se emplea son los culmos (tallo principal de la planta), para los cuales, se han registrado aproximadamente 42 usos tradicionales, específicamente para las especies que crecen de forma silvestre: bastones, utensilios de cocina, cestos, garrochas, alimento para el ganado, juguetes, flechas, material de construcción de viviendas, ornamentales, medicinales y andamios son solo algunos de ellos (Camarillo, *et al.*, 2020). Sin embargo, la generación y desarrollo de productos con valor agregado a base de bambúes tienen una tendencia creciente a nivel mundial. En el periodo 2014-2018 destacó el desarrollo de productos con alto valor agregado como los alimentos procesados a base de brotes en combinaciones de sabores con un 69% de aumento, los productos de cuidado personal y belleza que tienen como ingrediente natural y sostenible al bambú, para el cuidado del cabello y la piel con 20% y productos de uso doméstico en el hogar con 6% (Ulloa, 2019).

Partiendo que los elementos centrales de la bioeconomía son los recursos, los procesos y los principios biológicos, así como todas las tecnologías (convencionales y modernas) asociadas con su conocimiento, desarrollo, transformación o regeneración (Rodríguez, *et al.*, 2017) y aplicando lo descrito por Bugge *et al.*, (2016) en el desarrollo y utilización de la biomasa de bambú para cumplir las tres visiones de la bioeconomía, se tienen los siguientes resultados:

1). Visión bioecológica. Destacando la sostenibilidad como tema central, la creación de valor se apoya en la promoción de la biodiversidad, la conservación de los ecosistemas, la provisión de servicios y

la prevención de la degradación del suelo (Gawel *et al.*, 2019). Porque al ser el bambú una planta gramínea de rápido crecimiento, sus raíces sobreviven después de la cosecha y los brotes vuelven a crecer sin necesidad de replantar. En pocos años, los tallos de bambú maduran y se convierten en un material duro, similar a la madera y flexible, con una amplia gama de aplicaciones. Además, el bambú puede prosperar en tierras duras y marginales, puede plantarse en zonas donde la agricultura no es viable. Sus largos sistemas de raíces fijan el suelo y pueden elevar el nivel freático en pocos años, regenerando la tierra con el tiempo.

2). Visión de la biotecnología. En esta visión, las inversiones en investigación e innovación juegan un papel central como impulsores de la creación de valor, estimulando la aplicabilidad y comercialización del conocimiento científico. Esto es, para aplicar el concepto bioeconomía, se requiere de excelencia científica y de capacidades de transformación que permitan ampliar las fronteras para la utilización sostenible de la biomasa de bambú disponible (Rodríguez, *et al.*, 2017).

3). Visión de los biorecursos. Esta visión se refiere a la aplicación de biorecursos del bambú (tallos, hojas, vainas, raíces y rizoma) en el desarrollo de nuevos productos y el establecimiento de nuevas cadenas de valor. Teniendo como base que el material bambú cuenta con diversas cualidades como ser: eco-amigable, resistente, hipoalérgico, antibacteriano y antimicótico, ideal para piel sensible y alergias, alta capacidad de absorción, alta capacidad térmica. Por lo que se pueden una gran variedad de nuevos productos y de funciones: fármacos, enzimas de interés medicinal e industrial, elementos para la resistencia y la tolerancia de condiciones adversas, la reducción de la toxicidad y las alergias, entre otros muchos (Aguilar, *et al.*, 2018).

Además, para cada producto de bambú, suele haber numerosos subproductos: al crear carbón de bambú también es posible extraer alcohol, alquitrán y vinagre. Los pisos, cubiertas, revestimientos, paneles y vigas de bambú pueden ser una alternativa renovable y con bajas emisiones de carbono en comparación a los materiales de construcción tradicionales. Las hojas de bambú se utilizan como forraje y también se venden los brotes de bambú como alimento (Lainez, 2020). Se pueden utilizar los culmos de bambú para crear muebles, y las puntas sobrantes de los mismos para crear varillas de incienso. Incluso el aserrín se le condensa en briquetas de bambú o para ser utilizada como semillero de hongos de bambú.

Otra industria potencial para los biorecursos a base de bambú es, cuyo crecimiento en el mercado va en aumento. El carbón también se utiliza en procesos de filtración de agua para consumo humano y en actividades agropecuarias como remediador de suelos, sustratos, y en el estímulo de la floración de diferentes cultivos como lo es la piña.

Finalmente, utilizando el concepto de biorrefinería a través de la composición química del bambú, se pueden obtener múltiples productos como son los biomateriales, donde los productos más promisorios son resinas, aceites, alcoholes, aromatizantes, bioplásticos, biopolímeros, productos farmacéuticos y otros bioquímicos (Salazar y Cárdenas, 2018).

Conclusiones

Al utilizar el concepto de bioeconomía, como premisa central para el aprovechamiento integral de la biomasa de bambú, aplicando conocimiento e innovación es factible ampliar las fronteras para la generación de múltiples bienes y servicios sostenibles para la sociedad.

Literatura Citada

- Aguilar, A., R. Wohlgemuth and T. Twardowski. 2018. Perspectives on bioeconomy. *New Biotechnology* 40(Pt A):181-184
- Bugge, M. M., Hansen, T., & Klitkou, A. 2016. What is the bioeconomy? A review of the literature. *Sustainability (Switzerland)*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/su8070691>
- Camarillo C. A. Y., A. León M., D. M. Sangerman J., M. Hernández J. y M. C. Zamora M. 2020. Aspectos socioeconómicos del aprovechamiento del bambú en una comunidad rural de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 11(62):32-54.
- Canavan, S., D. M. Richardson, V. Visser, J. J. L. Roux, M. S. Vorontsova and J. R. U. Wilson. 2017. The global distribution of bamboos: assessing correlates of introduction and invasion. *AoB Plants* 9(1):plw078. Doi:0.1093/aobpla/plw078.
- Cosna, I. 2019. Evolution of bioeconomic management in the context of sustainable development in the age of globalization. *Manager Journal* 29(1):17-28.
- Gawel E., N. Pannicke and N. Hagemann. 2019. A path transition towards a bioeconomy—the crucial role of sustainability. *Sustainability* 2019, 11, 3005
- Global Bioeconomy Summit – GBS. 2018. Communiqué. Global

- Bioeconomy Summit 2018 - Innovation in the Global Bioeconomy for Sustainable and Inclusive Transformation and Wellbeing. http://gbs2018.com/fileadmin/gbs2018/Downloads/GBS_2018_Communique.pdf
- Hodson, de J. E. 2018. Bioeconomía: el futuro sostenible. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 42(164):188-201.
- Keswani C. (ed). 2020. *Bioeconomy for sustainable development*. Springer Nature Singapore Pte Ltd. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-9431-7>
- Rodríguez, A.G., A. O. Mondaini y M. A. Hitschfeld. 2017. Bioeconomía en América Latina y el Caribe. Contexto global y regional y perspectivas. Serie Desarrollo Productivo CEPAL No. 215. 94 p.
- Lainez, M. 2020. La bioeconomía como herramienta para el crecimiento económico sostenible. *C3-BIOECONOMY Circular and Sustainable Bioeconomy* 1:31-72.
- Rodríguez, A.G., A. O. Mondaini y M. A. Hitschfeld. 2017. Bioeconomía en América Latina y el Caribe. Contexto global y regional y perspectivas. Serie Desarrollo Productivo CEPAL No. 215. 94 p.
- Ruiz-Sánchez, E., L. G. Clark., X. Londoño., T. Mejía-Saulés and G. Cortés R. 2015. Morphological keys to the genera and species of bamboos (Poaceae: Bambusoideae) of Mexico. *Phytotaxa* 236 (1):1-24. Doi:10.11646/phytotaxa.236.1.1
- Salazar R. A. y G. J. Cárdenas. 2018. La bioeconomía y las biorrefinerías. *Avance Agroindustrial* 34 (3):31-34.
- Stegmann, P., Londo, M., & Junginger, M. 2020. The circular bioeconomy: Its elements and role in European bioeconomy clusters. *Resources, Conservation & Recycling: X*, 6, 100029. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2019.100029>
- Ulloa L. E. 2019. Evaluación de Opciones de Valor Agregado para Rambután y Bambú. Dirección de Inteligencia Comercial. PRO-COMER, Costa Rica. <http://sistemas.procomer.go.cr/Docs-SEM/6A910023-65E0-4517-A92F-A8604413BC97.pdf>
- Urmetzter, S., J. Lask, R. Vargas-Carpintero and A. Pyka. 2020. Learning to change: Transformative knowledge for building a sustainable bioeconomy. *ECOLOGICAL ECONOMICS*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106435>

EFECTO DEL EXTRACTO DE *Lens culinaris* SOBRE EL CRECIMIENTO RADICULAR EN ESTACAS DE *Morus alba*

María de los Ángeles Novelo Pérez¹, Noel Antonio González
Valdivia¹, Bernardino Candelaria Martínez¹,
Juan Antonio Rivera Lorca²

Resumen

El experimento se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación y Producción Agroecológica de Especies Menores del Instituto Tecnológico de Chiná. Las varetas de *Morus alba* se extrajeron de una plantación de un año y medio. Las varetas median 30 cm de longitud y en promedio 3 cm de diámetro, se sembraron en bolsas de polietileno con una mezcla 50:50 de tierra y peat moss. Los tratamientos aplicados fueron extracto de lenteja (*Lens culinaris*) y un tratamiento testigo las cuales se sembraron en las bolsas sin aplicarles ningún tipo de enraizador. Se midió el número de brotes y el peso de la raíz. En un periodo de 75 días de observación, se estimó que la máxima brotación se presenta a partir de los 33 días y no fue diferente entre las varetas con tratamiento de extracto de *L. culinaris* y el testigo. Las varetas que recibieron el tratamiento de extracto de *L. culinaris* presentaron un mayor peso. Se concluye que el extracto de *L. culinaris* estimula el desarrollo de la raíz de varetas de *M. alba*.

Palabras clave: Arbustos forrajeros, reguladores naturales, reproducción asexual, Campeche, México.

Abstract

The experiment was carried out at Minor Species Agroecological Research and Production Laboratory from Instituto Tecnológico de

Chiná. The *Morus alba* stakes were extracted from a one and a half year old plantation. The stakes measured 30 cm in length and on average 3 cm in diameter, they were planted in polyethylene bags with a 50:50 mixture of soil and peat moss. The treatments applied were lentil extract (*Lens culinaris*) and a control treatment which were planted in the bags without applying any type of rooting agent. The number of shoots and root weight were measured. In a period of 75 days of observation, it was estimated that the maximum sprouting occurs after 33 days and was not different between the twigs treated with *L. culinaris* extract and the control. The stakes that received the *L. culinaris* extract treatment presented a greater weight. It is concluded that the extract of *L. culinaris* stimulates the development of the shoot root of *M. alba*.

Keywords: Forage shrubs, natural regulators, asexual reproduction, Campeche, Mexico.

Introducción

En el trópico latinoamericano, la baja productividad del ganado está relacionada directamente con la poca disponibilidad de biomasa en los pastizales y el bajo valor nutritivo que presentan los pastos, donde el comportamiento estacional de las especies prateras determina un pobre suministro de alimento en la época poco lluviosa (Benavides, 1996), en este sentido, las especies del género *Morus* sobre sale como fuente de forraje por su excelente capacidad de producción de biomasa (Benavides, 2002). La reproducción vegetativa es una técnica sencilla, rápida, barata y además permite conservar la uniformidad genética de las plantas madre. Por lo general, la eficiencia del enraizamiento está afectada por la variedad, las condiciones ambientales prevaecientes, la nutrición de la planta madre, la edad del árbol generador y la parte de la planta seleccionada (Machii, 2002). Los enraizadores son compuestos de origen natural o sintético u hormonas vegetales que modifican procesos fisiológicos de las plantas. Regulan el crecimiento imitando a las hormonas influyendo en la síntesis, destrucción, translocación (posiblemente) modificando los sitios de acción de las hormonas (Yuste, 1997). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de extracto de *Lens culinaris* sobre el número de rebrotes y desarrollo de biomasa radicular de varetas de *Morus alba*; bajo la hipótesis que la aplicación de extracto de *Lens culinaris* favorece un mayor número de rebrotes y biomasa radicular en etapa de avivamiento en varetas de *Morus alba*.

1. Instituto Tecnológico de Chiná, Calle 11, Chiná, CP. 24520 Campeche, Campeche, México.
2. Instituto Tecnológico de Conkal, Avenida Tecnológico s/n, C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México. Correo: 117830028@china.tecnm.mx, bernardino.cm@china.tecnm.mx, noel.gv@china.tecnm.mx, juan.rl@conkal.tecnm.mx

Metodología

El experimento se realizó en las instalaciones del Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Chiná, en el área experimental del Laboratorio de Investigación y Producción Agroecológica de Especies Menores en las coordenadas 19°46'13.70 N 90°30'13.20 O elevación 33m. El clima que predominaba en el estado de Campeche es cálido subhúmedo con 26°C de temperatura media anual, presentándose los niveles máximos antes del solsticio de verano con un promedio de 28°C, alcanzando una temperatura máxima histórica de 52°C y 1,200 mm de precipitación al año.

Se seleccionó un área para el establecimiento del experimento, limpiando y nivelando el terreno, que luego fue delimitado por una cerca perimetral de protección. Se preparó un sustrato con una mezcla de Peat Moss y suelo (50-50%), se llenaron las bolsas negras de polietileno 15x20x30, que luego fueron dispuestas en el área experimental (Figura 1).



Figura 1. Sustrato preparado y bolsas conteniendo la mezcla para establecimiento de estacas para el experimento de enraizamiento de morera.

Se preparó extracto de lenteja (*Lens culinaris*) mediante remojo por 48 horas y licuado con auxilio de una licuadora de uso doméstico (Figura 2). Luego se asignó un número de 30 varetas al tratamiento, que se aplicó sumergiendo la parte basal de la varetas, hasta 5 cm y se sembraron en las bolsas de polietileno previamente llenadas, previo riego a punto de saturación (Figuras 3).

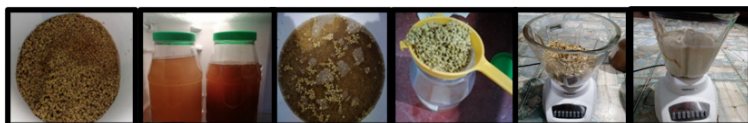


Figura 2. Proceso de elaboración del extracto acuoso de lentejas (*Lens culinaris*), para su uso como inductor de enraizamiento en estacas de *Morus alba*.

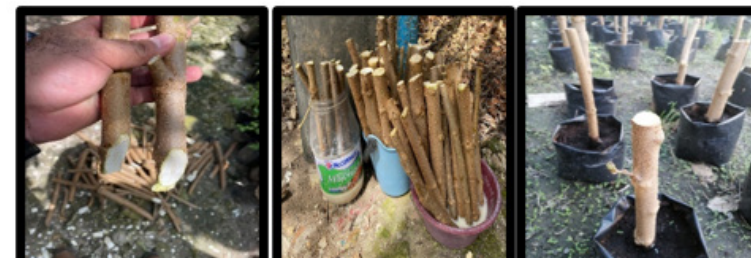


Figura 3. Proceso de aplicación del extracto de lenteja (*Lens culinaris*), a las varetas de morera (*Morus alba*).

Se llevó un registro diario para identificar de manera visual el prendimiento de las varetas mediante el brote de retoños. A los 15 días posteriores a la siembra se evaluó el porcentaje de sobrevivencia. Cada 15 días se desenterraron 3 varetas al azar para medir presencia de raíces y hojas, largo de la raíz y biomasa verde de la raíz. Se tomó una muestra de raíz para determinar la materia seca (MS).

Resultados y discusión

La utilización de extracto de lenteja produjo un alto número promedio de brotes (Cuadro 5) así como de biomasa (19.3 ± 1.53 g) y longitud promedio de las raíces por estaca (12.3 ± 2.78 cm). Esto datos resultan semejantes a los resultados obtenidos, con el uso de extracto de lenteja, en el enraizamiento de esquejes de *Coffea canephora* var. Robusta, reportados por Guamán *et al.* (2019).

Cuadro 5. Número de brotes de varetas de *M. alba* tratadas con enraizador orgánico.

Tratamiento	Brotes totales
Extracto de lenteja	5.00 ± 0.64
Testigo	4.82 ± 0.78

Los resultados permiten observar que la variable peso de la raíz se vio influenciada ($P < 0.05$) por el tipo de enraizador utilizado (Figura 4), el tratamiento de extracto de lenteja presentó los valores más altos desde las primeras evaluaciones. La longitud de la raíz en la mayoría de las observaciones fue similar entre polvo de canela, extracto de lenteja y el control sin aplicación de enraizadores.

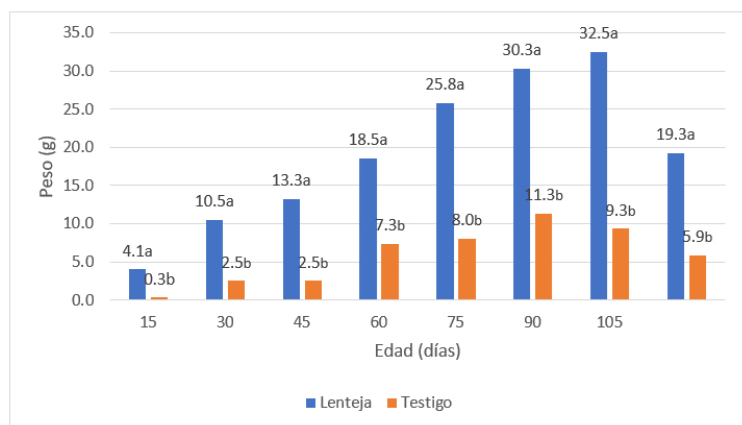


Figura 4. Peso de la raíz de varetas de *M. alba* tratadas con extracto de lenteja. Donde: a,b Literales diferentes en los mismos periodos indican diferencias estadísticas (Tukey, $p \leq 0.05$)

La máxima aparición de brotes fue detectada a partir de los 33 días después de establecido el experimento, que demuestra una activa influencia del extracto de lenteja sobre la fisiología celular, particularmente en la parte aérea de la estaca, pero que puede incluir en la aparición y crecimiento de las raíces, al iniciar la fotosíntesis en los brotes y con esta la traslocación de nutrientes necesarios para el crecimiento general. Las raíces, además, fueron consideradas como de tamaño suficiente para que las plantas puedan luego establecerse y autosostenerse en campos de plantación definitiva (Figura 5).

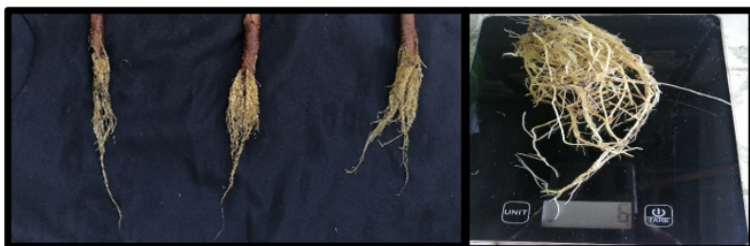


Figura 5. Raíces y peso de las mismas bajo el efecto de la aplicación del extracto de lenteja (*Lens culinaris*), a las varetas de morera (*Morus alba*).

Conclusiones

Bajo las condiciones en que se desarrolló el presente trabajo, el prendimiento de las varetas, evaluado a través del número de rebrotes se puede estimular por la aplicación de extracto de lenteja (*L. culinaris*), que además propició un relativamente alto de biomasa de raíz de *M. alba*.

Literatura Citada

- Benavides, J. E. (1996). Manejo y utilización de la morera (*Morus alba*) como forraje. *Agroforestería en las Américas*. 2(7):27-30.
- Benavides, J. E. (2002). Utilization of mulberry in animal production systems. *Mulberry for animal production*. Animal production and Health Paper No. 147, FAO, Rome. Pp. 291-327.
- Guamán, R., Leython, S., & Martínez, T. (2019). Enraizantes naturales en *Coffea canephora* var. robusta (L. Linden) A. Chev. *INVESTIGATIO*, (12), 93–102. Recuperado a partir de <https://revistas.uees.edu.ec/index.php/IRR/article/view/305>
- Machii, H. (2002). Evaluation and utilization of mulberry for poultry production in Japan. *Mulberry for animal production*. Animal production and Health Paper No. 147, FAO, Rome. Pp. 237-243.
- Yuste, P. (1997). *Biblioteca de la Horticultura*. Idea Bocks S.A. Barcelona, España. Tomo III. pp. 60-67, 130-133, 185-186

RESCATE DE CONOCIMIENTOS TRADICIONALES SOBRE INDICADORES ECOLÓGICOS Y CLIMATOLÓGICOS EN CASTAMAY, CAMPECHE

Mónica Jocelyn Sima Te¹, Noel Antonio González Valdivia¹,
José Germain López Santiago¹, Silvia Candelaria Almeyda Saenz²

Resumen

El cambio climático es un tema relevante y cada vez resultan más notorios sus efectos en el ambiente y la vida humana. Muchas investigaciones se han realizado al respecto. Desde la década de 1950, las herramientas tecnológicas consideradas modernas, han dominado el impulso agrícola, pecuario y forestal y, los métodos nuevos de producción han propiciado el abandono de los conocimientos tradicionales y ancestrales. No obstante, éstos aún se conservan en los pueblos originarios, quienes los aplican para orientar el uso, aprovechamiento y manejo de los recursos naturales, siendo parte de la memoria biocultural misma en el que se encuentra inmerso el conocimiento y sabiduría ancestral. Por lo antes mencionado, el objetivo de este proyecto es el recopilar y, por tanto, rescatar conocimientos sobre indicadores ecológicos y climatológicos, mismos que podrían ser aplicados en actividades del sector agrícola y forestal, incluso en un contexto de modificación del clima global. Para ello se realizaron 50 entrevistas a habitantes de la comunidad de Castamay, Campeche, que permitieron la elaboración de fichas etnográficas para describir cada uno de cuatro tipos de indicadores, dentro de los que destacan los Zooindicadores y los Fitoindicadores (más de 80% entrevistados los conocen en ambos casos), así como astronómicos (conocidos por

80%) y atmosféricos (más de 80%). Los indicadores más mencionados fueron la floración de plantas, el canto de aves, las fases de la luna y la forma de las nubes. La mayoría de los usos de la indicación se relaciona con la predicción hidrometeorológica (sequías o lluvias), mismos que pueden ser incorporados a las estrategias locales o regionales de gestión de riesgos y prevención de desastres agropecuarios y forestales, en Campeche, México.

Palabras clave: Ambiente y sociedad, comunidades rurales, cultura, saberes ancestrales, sustentabilidad.

Abstract

Climate change is a relevant issue and its effects on the environment and human life are becoming more and more noticeable. Much research has been done on this. Since the 1950s, technological tools considered modern have dominated the agricultural, livestock, and forestry drive, and new production methods have led to the abandonment of traditional and ancestral knowledge. However, these are still preserved in the native peoples, who apply them to guide the use, exploitation and management of natural resources. Due to the aforementioned, the objective of this project is to collect and, therefore, rescue knowledge on ecological and climatological indicators, which could be applied in activities of the agricultural and forestry sector, even in a context of global climate change. For this, 50 interviews were conducted with inhabitants of the community of Castamay, Campeche, which allowed the elaboration of ethnographic files to describe each of four types of indicators, among which the Zooindicators and the Phytoindicators stand out (more than 80% interviewed the known in both cases), as well as astronomical (known by 80%) and atmospheric (more than 80%). The most mentioned indicators were the flowering of plants, the song of birds, the phases of the moon and the shape of the clouds. Most of the uses of the indication are related to hydrometeorological prediction (droughts or rains), which can be incorporated into local or regional strategies for risk management and prevention of agricultural and forestry disasters, in Campeche, Mexico.

Keywords: Environment and society, rural communities, culture, ancestral knowledge, sustainability.

1. Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Chiná, calle 11, entre 22 y 28, Chiná, Campeche. CP 24520

2. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Calkiní, Av. Ah Canul S/N por Carretera Federal, Calkiní, Campeche, México. CP. 24900. M17830103@china.tecnm.mx, noel.gv@china.tecnm.mx, jose.ls@china.tecnm.mx

Introducción

La “Cultura occidental”, que tiene como rasgo principal el alto consumo de bienes y servicios, con la sobreexplotación recurrente de la naturaleza y sus bienes disponibles y accesibles. Esto, junto a la negación e incluso destrucción de otras culturas como las Mesoamericanas (Maya, Azteca entre otras), ha provocado la pérdida del conocimiento tradicional originario, capaz de comprender los fenómenos observables del clima a favor de la producción, la deforestación extrema de los paisajes neotropicales y la pérdida subsecuente de la capacidad de sustentar la vida y civilización humana. De igual manera, la sobreexplotación a causa de la demanda de alimentos por la sobrepoblación. Aunado a esto, el aumento del cambio de uso de suelo a causa de las actividades antropogénicas.

El conocimiento de buenas prácticas ancestrales y el uso de indicadores naturales podrían predecir la ocurrencia de lluvias, heladas, sequías y otros. Percibir la base de tales conocimientos facilita la adopción de innovaciones técnicas e institucionales en comunidades locales. Sin embargo, muchos de los conocimientos ancestrales y el uso de indicadores naturales se han perdido y otros pronto también habrán desaparecido, con lo que se perderá lo que Caamal-Itzá (2017) reconoce como concepto asociado al “ichkool” o milpa maya: el “Xok K’iin” que puede traducirse como la “interpretación de los mensajes de la vida”. Todo este gran acervo de conocimientos se encuentra estrechamente ligado al enfoque biocultural, haciendo énfasis en los saberes ancestrales, está conexión entre la cultura y la diversidad biológica es un gran ejemplo de la razón principal por la que este conocimiento debe rescatarse y tomarse como parte de las tecnologías de producción actual.

Sin embargo, en nuestras comunidades mestizas y más aún, en aquellas donde el componente de población originaria de Mesoamérica es alto, se pueden encontrar remanentes en mayor o menor grado de conservación de la cultura ancestral. Estos conocimientos tradicionales pueden contener claves necesarias para redirigir las bases de nuestro quehacer profesional, en campos agropecuarios y forestales, hacia paradigmas sustentables y con identidad de nación. Por lo tanto, es motivo de interés realizar una investigación en una comunidad cercana a la ciudad de Campeche, que permitirá una primera aproximación a esa cosmovisión resistente, subyacente en el tejido social de pueblos vinculados con la civilización Maya.

Se conoce que con los avances tecnológicos y con la llegada de las computadoras y los sensores remotos (satélites, estaciones orbitales), los modelos de predicción de alta tecnología han desplazado a los métodos tradicionales, que han pasado a considerarse inapropiadamente como “obsoletos” o “primitivos”. Con esto se pierde el saber y la tradición cultural local en relación con el medio ambiente. No obstante, lo que parece cierto es que algunos animales son capaces de detectar diminutas vibraciones o cambios atmosféricos que supera la tecnología humana debido al reconocimiento de que animales y plantas son capaces de superar en sensibilidad a las más adelantadas tecnologías, al menos en términos de predecir eventos catastróficos, es por esto por lo que el saber vuelve a ser centro de atención para la comunidad científica.

Como parte de este trabajo de investigaciones partimos del planteamiento de que al menos una persona de la comunidad de Castamay tiene conocimientos tradicionales acerca de indicadores ecológicos y climatológicos, aplicables a la realidad productiva y rural. Lo contrario podría resultar de la total destrucción de la cultura local, por el avance del modelo occidental y urbano.

El objetivo que perseguimos con la investigación es el de rescatar conocimientos tradicionales sobre indicadores ecológicos y climatológicos para actividades dentro del sector forestal y agropecuario. Para este efecto, se recopiló, mediante entrevistas a informantes claves, información sobre conocimientos tradicionales de indicadores ecológicos y climatológicos locales en Castamay, Campeche, aplicables a sistemas agroforestales resilientes ante el cambio climático.

Metodología

El presente trabajo se realizó en la comunidad de Castamay, Campeche que se localiza en las coordenadas GPS: Longitud 90°25'50.001'' y O, Latitud 19°50'19''N. La localidad se encuentra a una altura de 25 metros sobre el nivel del mar. Es una zona de clima tropical de sabana, cálido y con baja precipitación (<1000 mm anuales). La temperatura máxima promedio es 33°C en abril y de 27°C en enero. El acumulado anual promedio de precipitaciones es de 980.9 mm, según datos registrados desde 1978 hasta 1987 (Servicio Meteorológico Nacional-CONAGUA 2022).

Diseño de muestreo: El trabajo se dividió en cuatro etapas. 1. Consistió en el diseño de la herramienta de investigación que fue la

elaboración de un cuestionario semiestructurado de preguntas abiertas el cual fue dividido en cuatro secciones de datos; la primera sección comprendió datos generales (nombre, edad, escolaridad, actividad productiva, etc.), 2. Se realizaron preguntas acerca de indicadores ecológicos, si identifican algunos de estos: fitoindicadores y zooindicadores; 3. Recopilar información sobre los indicadores astronómicos: luna, sol y estrellas; y 4. Determinar los indicadores atmosféricos: nubes y viento.

La población objetivo cumplía los siguientes criterios: Hombres mayores a 40 años (>40). originarios de la comunidad de Castamay, Campeche por nacimiento o al menos con una antigüedad de residir ahí superior a los 40 años, preferentemente descendientes de la etnia Maya y/o con ocupación relacionada con el manejo de recursos agropecuarios o forestales. Así, de un total poblacional (N) de 182, se obtuvo una muestra (n) de 50 personas, aplicando la fórmula $n = \frac{Z^2 N p q}{(N-1) e^2 + Z^2 p q}$, con $Z = 1.65$, $e = 10\%$, p y q iguales a 50%. Se llevó a cabo el proceso de entrevistas a las personas de la comunidad que estuvieron dispuestos a ser cuestionados sobre el conocimiento de indicadores ecológicos y climatológicos, programando con ellos las visitas en horarios flexibles y adaptados a sus quehaceres o actividades laborales.

Finalmente, al concluir con el proceso de entrevistas se procedió a la organización de las respuestas obtenida, para ello se procesó la información de las encuestas en una base de datos y posteriormente se consolidó la información en fichas etnográficas individuales en función de los tipos de indicadores revelados: fitoindicadores, zooindicadores, astronómicos y atmosféricos, cada uno con la descripción de la razón de su uso como indicador.

Resultados y discusión

Los indicadores tradicionales identificados mediante el estudio fueron de los tipos ecológicos, astronómicos y atmosféricos. Algunas respuestas a las interrogantes planteadas fueron más ambiguas o demostraban tener una idea vaga sobre el tema. No obstante, la mayoría respondió de manera muy clara y detallada a cada una de las categorías consideradas. Respecto a los indicadores biológicos se obtuvo información sobre fitoindicadores y zooindicadores.

La frecuencia de conocimiento registrada fue semejante en ambos casos (Figura 1). Para los indicadores astronómicos (Sol, Luna y

Estrellas), la Luna fue el indicador más frecuentemente mencionado entre las personas encuestadas. Mientras que las estrellas (indicador estelar) fue reportado por un número menor de personas que identificaron algún tipo de saber en cuanto a las estrellas como indicadores de algún fenómeno climático de interés. En tanto, dentro de la categoría de atmosféricos se consideraron dos clases: Viento y Nubes siendo el primero en el cual los encuestados mostraron un mayor número de conocimientos sin mucha diferencia con el indicador Nubes en cuanto a número de personas que identifican a esta categoría (Figura 1).

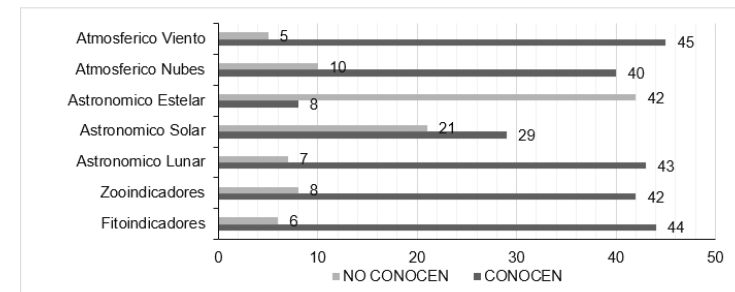


Figura 1. Indicadores ecológicos y climatológicos considerados por las personas en la comunidad de Castamay, Campeche

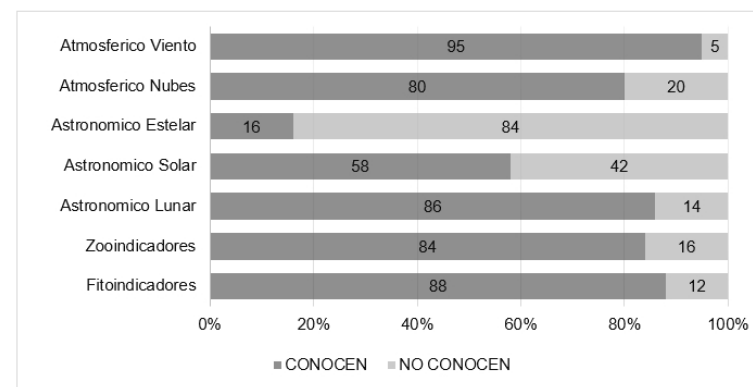


Figura 2. Porcentaje de personas que conocen y no conocen los indicadores ecológicos y climatológicos de la comunidad de Castamay, Campeche.

Fitoindicadores

Las especies identificadas como fitoindicadores incluyen al Jabón, *Piscidia piscipula*, asociado a la cantidad de lluvia, dado que con base en la sincronía de la abundancia en que se presenta la floración, se predice si las lluvias serán buenas, regulares o malas. La floración y la pérdida de hojas del mango, *Mangifera indica*, se relacionan con el inicio de las lluvias, por lo que en la medida que estas dos condiciones se detectan, se puede predecir si habrá lluvias tempranas, regulares o tardías (sequía).

Otras especies como *Gymnopodium floribundum*, *Lysiloma latiliquum*, *Viguiera dentata*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Bursera simaruba*, *Caesalpinia gaumeri*, *Ehretia tinifolia*, *Cordia dodecandra*, *Tabebuia rosea*, *Manilkara zapota* y *Metopium brownei*, fueron mencionadas como indicadores de sequía; ya que la floración de estas especies se sincroniza con el inicio de las lluvias, su atraso entonces se traduce como posible sequía. Resultan de muy fácil identificación porque tiene importancia en la apicultura (Figura 3).

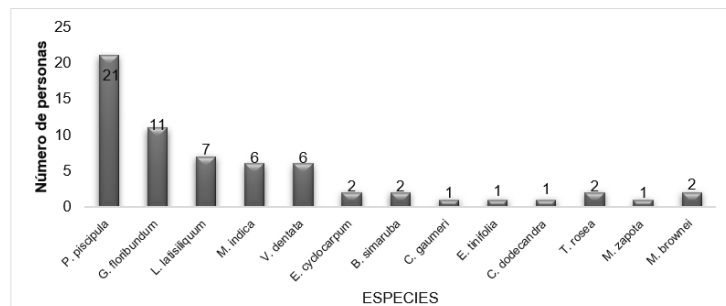


Figura 3. Especies mencionadas como indicadores ecológicos y climatológicos de la comunidad de Castamay, Campeche.

Zooindicadores

Las especies *Orthalis vetula* y *Eciton burchelli* fueron las más mencionadas como indicadores de la llegada de las lluvias. La primera se identifica por un “canto” particular que indica que las lluvias se están acercando. Por otra parte, *E. burchelli*, cuando asciendo buscando refugio para sus huevecillos, indica una muy fuerte y próxima lluvia. Otras aves como *Gallus gallus domesticus*, *Pavo cristatus*, *Crotophaga sulcirostris*, *Micrastur semitorquatus* y *Tyto alba*, emiten “cantos”, principalmente por las tardes, como indicio de que las lluvias están

cada vez más cerca. La golondrina, *Hirundo rustica*, se relaciona de igual manera con el muy cercano inicio o llegada de lluvias cuando se observan grupos de estas aves “revoloteando”. El único zooindicador del inicio de la sequía fue un insecto del orden Hemiptera, la chicharra, *Quesada spp.*, y otros géneros, que, si producen un “grito” al unísono, generalmente por las tardes, es un anuncio de que vendrán días con demasiado sol y que la sequía iniciará.

Indicadores astronómicos

Fueron descritas principalmente dos fases de la luna que son las que se usan dentro de los sectores agrícola y forestal: luna llena y luna en cuarto menguante. La luna llena se asocia con el mejor momento para el corte de madera y en menor proporción, al mejor momento de siembra de algunos cultivos. Se conoce que si estas actividades se realizan durante el proceso de la Luna llena se obtendrán resultados positivos. El Cuarto Menguante está vinculado a los momentos idóneos para llevar a cabo la siembra de distintos cultivos y para la producción de injertos. Se menciona que la probabilidad de éxito en estas actividades es alta en ambos casos, orientando que serán más provechosas si se realizan cuatro días después de cada una de las fases lunares mencionadas.

El sol es un tipo de indicador astronómico, que cuando presenta un gran “aro” a su alrededor indica que iniciará la temporada de lluvias o que la sequía está cerca. Este fenómeno se puede identificar entre temporadas por eso se menciona que cuando es temporada de lluvias y el sol tiene ese “aro” es indicio de que vendrán días de lluvia más intensas. Por el contrario, si se produce durante la temporada de sequías, esto significa que los días siguientes el sol será intenso.

Las estrellas (o indicador Estelar), fueron consideradas dentro de los indicadores astronómicos, sin embargo, fue el indicador con menos mención en relación con fenómenos climáticos. Las mínimas descripciones obtenidas hacen referencia a que el único cambio evidente en las estrellas se puede observar durante la temporada invernal que es cuando en el cielo se encuentran en mayor cantidad.

Indicadores atmosféricos

Las nubes pueden dividirse en dos tipos. Primero, cuando en el cielo se observan nubes con forma de “bolitas”, eso indicaría que un “Norte” con lluvia está cerca. Por otra parte, cuando en el cielo se presen-

tan nubes con forma de “rayas”, denominadas “cola de gallo”, entonces vendrán días con mucho viento, no obstante, el color y la frecuencia con la que se presenten será indispensable para hacer más acertada la predicción. Nubes blancas y abundantes indicaran fuertes vientos.

El viento es un indicador atmosférico, del cual los entrevistados describen dos tipos: la brisa y el sueste. La “brisa” es un viento fresco que proviene del Norte y que, principalmente, se presenta en temporadas de lluvia, huracanes, Nortes o invierno boreal. Se presenta con distinta intensidad. Por otra parte, el “sueste” es un viento que proviene del sur y se caracteriza por ser un viento seco que principalmente se percibe en la temporada de sequía. Suele ser muy intenso en relación con los días soleados “normales”.

Aunque no hay una sistematización importante de conocimientos ancestrales tradicionales, el uso de las “cabañuelas mayas” como método de predicción para la siembra de la milpa o ichkool, fue investigado por Caamal-Itzá (2017). Él afirma que las cabañuelas sirven para predecir cómo será el clima durante todo el año y en base a esto se realizan actividades en el campo tales como siembra de cultivos y manejo de animales de traspatio. En su estudio menciona a especies zooindicadores como el Koos y Chachalaca, ambos indicadores de lluvia. Estas aves fueron mencionadas en Castamay con las mismas características de indicación. Por el contrario, la Yuya (*Icterus yucatanensis*), es un ave que puede asociarse a la regularidad de las lluvias en una estación y por tanto, considerarse en las decisiones respecto a la milpa y sus cultivos (Castillo-López y Torres-Carral 2022). En Castamay nadie reconoció a esta ave como indicador. Tampoco hubo un reconocimiento de las cabañuelas mayas como método de indicación en la localidad de estudio, lo que según Perdomo-Sánchez (2011), es un indicio de que el cambio climático puede estar quitando efectividad a las “kaballuelas” como predictores (Perdomo-Sánchez 2014).

Conclusiones

Los entrevistados en Castamay conocen y algunos usan distintos indicadores ecológicos, para predecir el comportamiento futuro de los eventos climáticos, predominando las categorías dentro de los fito y zooindicadores, los astronómicos (Luna) y atmosféricos (Viento, nubes). No obstante, aún con la importancia que este conocimiento tradicional tiene, actualmente la población joven de la localidad no muestra interés por estos saberes ancestrales, amenazando con per-

derse para siempre. Por tanto, es importante rescatar estos conocimientos, por su eficacia en la predicción de eventos que pueden ser graves para pobladores, infraestructuras productivas y los recursos naturales de la zona. Finalmente, el alto grado de eficacia de estos indicadores ecológicos dentro de las actividades productivas siguen despertando el interés de la comunidad científica, ya que comprender el mundo desde la perspectiva de nuestras comunidades originales daría otro enfoque a nuestro sistema de producción actual, trayendo consigo una nueva técnica la cual estaría basada en el conocimiento, innovaciones y prácticas ancestrales que forman parte de nuestra amplia y existente memoria biocultural.

Literatura citada

- Caamal-Itzá, B. (2017) Xok k'iiin 2017 U ja'abi iik'o'ob (El año de los vientos): Cabañuelas Mayas. Colectivo Xok k'iiin, Mérida, Yucatán, México. <https://culturamayahistoriasanecdotsyucatan-magico.wordpress.com>
- Castillo-López, S. y Torres-Carral, G.A. (2022) Milpa y saberes mayas en San Sebastián Yaxché, Peto, Yucatán. *Estudios de Cultura Maya* 59: 171-189. doi: <https://doi.org/10.19130/iifl.ecm.59.22X876>
- Perdomo-Sánchez, J.C. (2014) Percepciones de cambio climático: el caso del Resguardo del Gran Cumbal. Pp. 101-115. En: Gutiérrez-Tamayo, A.L. & Toro-Bedoya, G.A. (Eds.). *Culturas, ecología humana y ciudadanías*. Universidad de Antioquía, Medellín, Colombia. 252 p.

MODELOS DE VOLUMEN PARA *Cordia alliodora* (RUIZ & PAV.) OKEN EN CAFETALES BAJO SOMBRA EN ZONGOLICA, VERACRUZ

Rolando M. Tlaxcala Méndez¹, María del C. Pablo Mendoza¹, Martín Aquino Ramírez², Ángel Ventura Contreras³ y Olga Santiago Trinidad

Resumen

Las ecuaciones alométricas son una herramienta cuantitativa importante para la estimación del volumen maderable de los árboles en pie. Sin embargo, su uso es limitado debido a los escasos de ecuaciones para condiciones específicas donde crecen las especies arbóreas. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue ajustar seis ecuaciones alométricas de volumen fustal para árboles de xochicuahuatl [*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken] presentes en los sistemas agroforestales de café (SAFC) de Zongolica, Veracruz. Para ello, mediante un muestreo no destructivo, se obtuvieron los datos dasométricos de 70 individuos de xochicuahuatl. Los fustes se cubicaron con las fórmulas de Smalian y del cono. Las variables predictoras fueron el diámetro normal y la altura total. Para seleccionar el mejor modelo se emplearon cinco estadísticos de bondad de ajuste [el coeficiente de determinación ajustado (R²Adj), la raíz de los cuadrados medios del error (RMSE), el coeficiente de variación en porcentaje (CV), el error relativo promedio en porcentaje () y el sesgo promedio ()] y un sistema de calificación ad hoc. Todos los modelos presentaron buenas bondades de ajuste. Sin embargo, se seleccionó el modelo de Schumacher-Hall por obtener el mejor puntaje en el sistema ad hoc. En conclusión, esta

1. Investigador(a), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental El Palmar. Tezonapa, Veracruz, México.

2. Investigador, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Edzná. Campeche, Campeche, México.

3. Estudiante, Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, Campus Tezonapa. Correo: tlaxcala.rolando@inifap.gob.mx

herramienta podría ser útil en las estimaciones de volumen fustal del arbolado en pie presente en los SAFC de Zongolica, Veracruz.

Palabras clave: coeficiente de forma, modelo volumétrico fustal, xochicuahuatl

Abstrac

Allometric equations are an important quantitative tool for estimating the timber volume of standing trees. However, its use is limited due to the scarcity of equations for specific conditions where tree species grow. Therefore, the objective of this study was to fit six stem volume allometric equations for xochicuahuatl trees [*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken] present in the coffee agroforestry systems (CAFS) of Zongolica, Veracruz. For this, through non-destructive sampling, the dasometric data of 70 individuals of xochicuahuatl were obtained. The stems were cubed with the Smalian and cone formulas. The predictor variables were diameter at breast height and total height. To select the best model, five goodness-of-fit statistics were used [Adjusted R-squared (R²Adj), the root mean square error (RMSE), the coefficient of variation in percent (CV), the average relative error in percent () and the average bias and, an ad hoc rating system. All models presented good goodness of fit. However, the Schumacher-Hall model was selected as it had the best score in the ad hoc system. In conclusion, this tool could be useful in estimating stem volume for xochicuahuatl trees in CAFS of Zongolica, Veracruz.

Keywords: form factor, stem volumetric model, xochicuahuatl

Introducción

Una de las especies maderables más importantes en los sistemas agroforestales de café (SAFC) en el municipio de Zongolica, Veracruz, es el xochicuahuatl [*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken] por su alta abundancia, dominancia y frecuencia; además, representa el 22% del área basal del dosel de sombra en los cafetales (Tlaxcala-Méndez *et al.*, 2020). De manera similar, en los sistemas agroforestales (SAF) de Centroamérica el xochicuahuatl es la principal especie maderable, este representa entre el 40% al 54% del área basal total de los árboles de sombra, la madera de esta especie es apreciada por los indígenas para la elaboración de muebles y construcción de viviendas (Guiracocha *et al.*, 2001). Los productores conservan sus árboles maderables en sus fincas por considerarlos un tipo de cuenta de ahorro, estos son

vendidos una vez que llegan a la madures y cuando el precio del café disminuye o para cubrir gastos imprevistos como una emergencia o una celebración; esto les permite obtener ingresos rápidos (López y Detlefsen, 2012). Sin embargo, en los SAFC de Zongolica la venta de los árboles en pie se realiza por apreciación directa, sin emplear alguna herramienta precisa que cuantifique el volumen maderable de los árboles, por lo que esto podría generar pérdidas económicas para el productor. En este sentido, una manera de cuantificar el volumen maderable de los árboles en pie es mediante ecuaciones alométricas específicas por especie, región y ámbito de crecimiento. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue ajustar seis modelos de volumen fustal para árboles de xochicuahuatl que crecen en los SAFC de Zongolica, Veracruz. La hipótesis del trabajo fue que los modelos lineales presentarán mejor ajuste a los datos dasométricos en comparación a los no lineales.

Metodología

Área de estudio

El presente trabajo se realizó en los SAFC del municipio de Zongolica con poblaciones de xochicuahuatl bajo regeneración natural, en altitudes de 950 a 1,150 m. El clima es semicálido húmedo con lluvias todo el año (ACf), temperaturas de 14 a 26° C, precipitaciones de 2,400 a 3,100 mm, la fisiografía es de sierra de cumbres tendidas con suelos Luvisoles y Acrisoles (INEGI, 2009).

Muestreo

La obtención de los datos dasométricos fue mediante muestreos no destructivos del arbolado en pie. Para ello, se empleó una cinta diamétrica Forestry Suppliers®, un flexómetro Truper®, una cinta métrica Truper®, un dendrómetro Criterion RD1000® y un GPS Garmín®. Se seleccionaron 70 árboles sanos con crecimiento monopodial, con diferentes posiciones sociológicas (dominantes, codominantes, intermedios y suprimidos), con ámbito de crecimiento en cafetales bajo sombra diversificada y distribuidos de forma aleatoria para cubrir toda variabilidad dasométrica. Las variables registradas fueron diámetro normal con corteza en cm (Dn), altura total en m (H), diámetros con corteza a diferentes alturas sobre el fuste en cm (d) y alturas para cada sección d con respecto al suelo en m (h), la primera medición se realizó a ras del suelo a 0 m, la segunda y tercera

medición se tomó cada 0.30 m de longitud, la cuarta a 0.70 m (1.30 Dn), y las restantes cada 1.5 m hasta la punta de los fustes. Los volúmenes de las trozas se calcularon con la fórmula de Smalian y para las puntas con la fórmula del cono (Flores-Morales *et al.*, 2021).

Modelos de volumen fustal

Se ajustaron seis modelos de volumen fustal frecuentemente empleados en el ámbito forestal (Cuadro 1), donde expresan al volumen (m³) como una función de diámetro normal (cm) y altura total (m). El procedimiento MODEL de SAS/ETS® (SAS Institute Inc., 2004) fue utilizado para la estimación de los parámetros de los modelos lineales y no lineales por mínimos cuadrados.

Cuadro 1. Modelos ajustados para la estimación de volumen fustal en xochicuahuatl.

Modelo	Ecuación	Forma
1. Variable combinada clásico	$V_f = \alpha_0 + \alpha_1 Dn^2 H + \epsilon$	Lineal
2. Variable combinada sin intercepto	$V_f = \alpha_1 Dn^2 H + \epsilon$	Lineal
3. <u>Kopecky-Gehrhardt</u>	$V_f = \alpha_0 + \alpha_1 Dn^2 + \epsilon$	Lineal
4. Schumacher-Hall	$V_f = \alpha_0 Dn^{\alpha_1} H^{\alpha_2} + \epsilon$	No lineal
5. Honner	$V_f = \frac{Dn^2}{\alpha_0 + \alpha_1 (1/H)} + \epsilon$	No lineal
6. Thornber	$V_f = \alpha_0 (H/DN)^{\alpha_1} \times Dn^2 H + \epsilon$	No lineal

Donde V_f es el volumen del fuste en m³; Dn es el diámetro normal en cm; H es la altura total en m; α_0 , α_1 , α_2 , α_3 son los parámetros a estimar y ϵ es el error del modelo.

Debido a que la variable respuesta del volumen fustal en los modelos no tiene una transformación logarítmica, los modelos se pudieron comparar en sus bondades de ajuste, en este sentido, para comparar y seleccionar el mejor modelo, se consideró el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{Adj}), la raíz de los cuadrados medios del error (RMSE), el coeficiente de variación en porcentaje (CV), el error relativo promedio en porcentaje ($\bar{\epsilon}$) y el sesgo promedio ($\bar{\epsilon}$) (Flores-Morales *et al.*, 2021).

$$R^2_{Adj} = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) / (n - p)}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / (n - 1)} \right]$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 / (n - p)}$$

$$CV(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n - p)}}{\bar{y}} \times 100$$

$$\bar{E}(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^n \frac{\hat{y}_i - y_i}{y_i}$$

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{n}$$

Donde y_i , \hat{y}_i , y \bar{y} es el volumen total, observado, predicho y medio de los árboles, respectivamente; n es el número de observaciones y p es el número de parámetros del modelo.

De forma complementaria se desarrolló un sistema de calificación *ad hoc*, permitiendo que el mejor ajuste sea una caracterización multidimensional considerando todos los criterios, el rango de calificación fue de 1 a 6, por lo que el mejor modelo fue el que obtuvo una menor calificación.

Resultados y Discusión

Los coeficientes de regresión fueron altamente significativos (<0.05), excepto en α_1 del modelo 3 (Cuadro 2). En cuanto a la forma de los fustes de *Cordia alliodora*, el modelo 1 sugiere en α_1 un coeficiente de forma (CF) de 0.41, por otro lado, el modelo 2, estima en α_1 un CF de 0.46 cercano al paraboloides (Guzmán-Santiago *et al.*, 2022), similar al CF de 0.50 para *Manilkara zapota* (Hernández-Ramos *et al.*, 2021); esta geometría puede deber a factores como la auto-poda, la edad de los individuos, la competencia, la genética y el manejo de los SAFC. La geometría de los fustes en los modelos 1 y 2 fue estimada como $CF = \frac{40,000}{\pi} \times \alpha_1$.

Cuadro 2. Parámetros y estadísticos de los modelos ajustados para estimar el volumen en xochicuahuatl.

Modelo	Parámetro	Estimador	EE†	Valor de t	Pr > t
1	α_0	0.256973	0.056	4.56	<0.0001
	α_1	0.000032	1.16 E-6	27.5	<0.0001
2	α_1	0.000036	8.28 E-7	43.86	<0.0001
3	α_0	0.001037	4.50 E-5	23.02	<0.0001
	α_1	0.001020	0.076	0.01	0.9893
4	α_0	0.000280	9.00 E-5	3.11	0.0027
	α_1	1.465216	0.0773	18.97	<0.0001
	α_2	1.013649	0.1110	9.13	<0.0001
5	α_0	453.0542	116.2	3.90	0.0002
	α_1	14184.06	3334.0	4.25	<0.0001
6	α_0	0.000047	2.32 E-9	20.33	<0.0001
	α_1	0.496139	0.0918	5.40	<0.0001

†EE: error estándar de los parámetros.

Los modelos ajustados para la estimación del volumen fustal (Cuadro 3) presentaron valores altos en el coeficiente de determinación ajustado ($R^2_{Adj} > 0.88$). Sin embargo, el mejor modelo ajustado de acuerdo al sistema de calificación *ad hoc* (Cuadro 4) fue el modelo 4 de Schumacher-Hall, dado que obtuvo el mayor valor en el R^2_{Adj} y menores valores en la RMSE, CV, y \bar{E} . Generalmente, el modelo de Schumacher-Hall es uno de los que mejor se ajusta a los datos de volumen en especies forestales (Benavides *et al.*, 2018).

Cuadro 3. Comparativo y estadísticos de bondad de ajuste de los modelos para estimar la volumen fustal en xochicuahuatl.

Modelo	RMSE† (m3)	CV‡ (%)	§ (%)	¶ (m3)	R2AdjⓂ
1	0.294	20.078	17.737	0.006	0.916
2	0.334	22.782	11.090	0.112	0.892
3	0.347	23.633	9.403	0.024	0.885
4	0.235	16.014	11.51	0.021	0.947
5	0.305	20.793	1.204	0.046	0.911
6	0.282	19.227	2.399	0.055	0.924

†RMSE: raíz de los cuadrados medios del error); ‡CV: coeficiente de variación; §: error relativo estándar promedio; ¶: sesgo promedio; ⓂR2Adj coeficiente de determinación ajustado.

Cuadro 4. Sistema de calificación *ad hoc* para los modelos de volumen de fuste.

Modelo	RMSE† (m3)	Calificaciones					Total
		CV‡ (%)	§ (%)	¶ (m3)	R2AdjⓂ	Parámetros	
1	3	3	6	1	3	2	18
2	5	5	4	6	5	1	26
3	6	6	3	3	6	2	26
4	1	1	5	2	1	3	13
5	4	4	1	4	4	2	19
6	2	2	2	5	2	3	16

†RMSE: raíz de los cuadrados medios del error); ‡CV: coeficiente de variación; §: error relativo estándar promedio; ¶: sesgo promedio; ⓂR2Adj coeficiente de determinación ajustado.

Conclusiones

Los modelos no lineales presentaron mejores valores en los estadísticos de bondad de ajuste. Los modelos de la variable combinada clásico y sin intercepto sugieren un CF de 0.41 y 0.46, respectivamente. Este CF depende de varios factores tanto silvícolas, como ambientales y genéticas. La mejor bondad de ajuste según el sistema de califica-

ción *ad hoc* lo presentó el Modelo 4 de Schumacher-Hall en su forma no lineal, esta herramienta puede ser útil en las estimaciones del volumen maderable de los árboles de xochicuahuatl en pie existentes en los SAFC de Zongolica, Veracruz.

Literatura citada

- Benavides S., J. de D., Rueda S. A., Flores G. J. G., Orozco G. G., Gómez R. D. A. 2018. Ecuaciones de volumen para plantaciones forestales comerciales de teca (*Tectona grandis* L. F.), en Jalisco y Nayarit. Folleto Técnico Núm.2. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco, México. 55 p.
- Flores-Morales, E. A., A. C. Rodríguez-Alemán., O. A. Aguirre-Calderón, E. Alanís-Rodríguez & G. Quiñonez-Barraza. 2021. Sistema compatible de ahusamiento-volumen para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el ejido Corona del Rosal, Nuevo León, México. Madera y bosques, 27(2).
- Guiracocha, G., Harvey, C. A., Somarrriba, E., Krauss, U., & Carrillo, E. 2001. Conservación de la biodiversidad en sistemas agroforestales con cacao y banano en Talamanca, Costa Rica. Agroforestería en las Américas 8: 7-11.
- Guzmán-Santiago, J. C., Vargas-Larreta, B., Gómez-Cárdenas, M., & Quiñonez-Barraza, G. (2022). Función ahusamiento-volumen comercial de *Abies religiosa* (Kunth) Schtdl. & Cham. en varias regiones de México. Colombia forestal, 25(1), 77-94.
- Hernández-Ramos, J., García-Cuevas, X., Hernández-Ramos, A., Tamarit-Urias, J. C., & Buendía-Rodríguez, E. (2021). Modelos para estimar volumen fustal y ahusamiento para *Manilkara zapota* (L.) P. Royen en Quintana Roo, México. Acta universitaria, 31.
- INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Zongolica, Veracruz de Ignacio de la Llave.
- López, A. & G. Detlefsen. 2012. Agroforestería y la producción de madera. In: Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. Detlefsen G. y E. Somarrriba (ed.). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE Turrialba, Costa Rica. pp: 9-18.
- SAS Institute Inc. 2004. SAS/ETS® 9.1 User's Guide. Cary, NC. 2416 p.
- Tlaxcala-Méndez R. M., M. Aquino-Ramírez, O. Santiago-Trinidad, M. del C. Pablo-Mendoza & C. R. Monroy-Rivera. 2020. Estructura

tura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de *Coffea arabica* L. en Zongolica, Veracruz. Revista Tecnológica CEA N°11 (Número especial).

EFFECTO DE *Laccaria laccata* (SCOP.) COOKE Y *Lupinus montanus* KUNTH EN EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE UN PINO NEOTROPICAL

Sonia Sierra-Balbuena¹, Juan José Almaraz-Suarez¹,
Jesús Pérez-Moreno¹, Faustino Hernández-Santiago²,
Marco Polo Carballo-Sánchez¹

Resumen

Los hongos son esenciales en la naturaleza al participar en procesos de reciclaje de materia orgánica, en la formación y conservación del suelo, y en el equilibrio de los ecosistemas naturales. Las micorrizas son asociaciones simbióticas entre las raíces de las plantas y ciertos grupos de hongos. El principal beneficio para ambos simbioses es el intercambio de nutrientes. Algunas especies de hongos ectomicorrízicos (HEC) son comestibles y constituyen un recurso forestal no maderable, de enorme importancia para la conservación forestal, ya que son una fuente alimenticia o una alternativa de ingreso económico para las comunidades locales. Asimismo, leguminosas del género *Lupinus* fijan nitrógeno atmosférico y hacen disponible fósforo, potasio y otros nutrientes utilizando diversos mecanismos, lo cual produce un efecto positivo para las plantas que se encuentran en su periferia. Debido a esto, se evaluó el efecto en crecimiento, peso seco y porcentaje de colonización al asociar *Lupinus montanus* inoculado con *Bradyrhizobium sp.* y/o al inocular el HEC *Laccaria laccata* en plantas de *Pinus ayacahuite* en invernadero. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, compuesto por cuatro tratamientos: *Pinus ayacahuite* asociado con *L. montanus* y *L. laccata*; *P. ayacahuite* inoculado con *L. laccata* y sin *L. montanus*; *P. ayacahuite*

1, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Microbiología, Edafología. Km 36.5, carretera México-Texcoco, 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

2 Universidad Intercultural del Estado de México, plantel Tepetlixpa. Av. 20 de noviembre S/N, Col. La Ermita, Tepetlixpa, Estado de México. Correo: ssierrabalbuena@gmail.com

con *L. montanus* y *Pinus ayacahuite* sin inocular (testigo). Después 300 días de la siembra, existió un efecto benéfico en el crecimiento de las plantas de la especie forestal como resultado de la asociación con los microorganismos. Asimismo, se observó un mayor porcentaje de colonización en plantas inoculadas solo con el hongo ectomicorrízico *L. laccata* (91.1%) y la presencia de esporomas lo cual corrobora la asociación. Se puede concluir que la simbiosis de especies forestales con microorganismos benéficos representa una fuente potencial para la inoculación biotecnológica en la producción de planta forestal.

Palabras claves: Hongos ectomicorrízicos, *Pinus ayacahuite*, *Bradyrhizobium*, symbiosis, bacteria.

Abstract

Fungi are essential in nature as they participate in organic matter recycling processes, in soil formation and conservation, and in the balance of natural ecosystems. Mycorrhizae are symbiotic associations between plant roots and certain groups of fungi. The main benefit for both symbionts is the exchange of nutrients. Some species of ectomycorrhizal fungi (ECF) are edible and constitute a non-timber forest resource of enormous importance for forest conservation, since they are a food source or an alternative economic income for local communities. Likewise, leguminous plants of the genus *Lupinus* fix atmospheric nitrogen and make available phosphorus, potassium and other nutrients using various mechanisms, which has a positive effect on the plants found in their periphery. Accordingly, the effect on growth, dry weight and percentage of colonization was evaluated by associating *Lupinus montanus* inoculated with *Bradyrhizobium sp.* and/or inoculating ECF *Laccaria laccata* on *Pinus ayacahuite* plants in greenhouses. A completely randomized experimental design was used, composed of four treatments: *P. ayacahuite* associated with *L. montanus* and *L. laccata*; *P. ayacahuite* inoculated with *L. laccata* and without *L. montanus*; *P. ayacahuite* with *L. montanus* and *P. ayacahuite* without inoculation (control). After 300 days after planting, there was a beneficial effect on the growth of the plants of the forest species as a result of the association with the microorganisms. Likewise, a higher percentage of colonization was observed in plants inoculated only with the ectomycorrhizal fungus *L. laccata* (91.1%) and the presence of sporomes, which corroborates the association. It can be concluded that the symbiosis of forest species with beneficial microorga-

nisms represents a potential source for biotechnological inoculation in forest plant production.

Keywords: Ectomycorrhizal fungi, *Pinus ayacahuite*, *Bradyrhizobium*, symbiosis, bacteria.

Introducción

Existe escasa información sobre la importancia que tienen las poblaciones de leguminosas del género *Lupinus* en ecosistemas naturales y, en particular, en bosques del género *Pinus*. El *Lupinus* fija nitrógeno atmosférico y hace disponible fósforo, potasio y otros nutrientes utilizando mecanismos diversos lo cual produce un efecto positivo para las plantas que se encuentran en su periferia. Los mecanismos involucrados son la nodulación por bacterias (*Bradyrhizobium*) y raíces proteoides, lo cual produce, entre otros efectos, la modificación del pH en la rizosfera y disponibilidad de nutrientes del suelo como fósforo y potasio mediante procesos químicos como la liberación de protones. *L. montanus* y otras especies han sido utilizadas en Sudamérica y Guatemala para mejorar la fertilidad en suelos forestales.

El género *Lupinus* cuenta con más de 300 especies, la mayoría crece en América Central. En México se tienen aproximadamente 110 especies nativas distribuidas en varios estados, desde Baja California hasta Chiapas. La mayor población se encuentra en la Sierra Madre Occidental y el Eje Neovolcánico Transversal (Pablo-Pérez *et al.*, 2015; Zamora *et al.*, 2019). Sin embargo, especies como *Lupinus montanus* Kunth y *L. elegans* Kunth han sido utilizadas en programas forestales para la rehabilitación de suelos y como abono verde en el Estado de México y Michoacán (Zamora *et al.*, 2019). Las especies de este género son valiosas, esto debido a la alta cantidad de proteínas en sus semillas y la capacidad de obtener nitrógeno atmosférico por medio del proceso de fijación biológica de nitrógeno en simbiosis con bacterias conocidas como rizobios, las cuales toman el nitrógeno del aire y lo convierten en amonio (Zamora *et al.*, 2019; Mellal *et al.*, 2019).

Muy pocas especies de este género se han estudiado para conocer su potencial nutricional y no han sido domesticadas. Además, las especies crecen en condiciones poco favorables, como en suelos ácidos y son capaces de fijar altas concentraciones de nitrógeno atmosférico (Pablo-Pérez *et al.*, 2015). En la actualidad, los estudios que se han realizado sobre las especies del género *Lupinus* se enfocan en el

mejoramiento genético, composición química de plantas y semillas, aspectos agronómicos, y nutrición humana y animal.

Asimismo, en los bosques de coníferas existen asociaciones mutualistas, en específico la relación entre hongos ectomicorrízicos (HEC) y los árboles, mediante el cual la planta le proporciona carbohidratos y un microhabitat, mientras que el hongo le permite a la planta una mejor captación de agua y nutrientes (Camargo-Ricalde *et al.*, 2012). Las gimnospermas principalmente se asocian con hongos ectomicorrízicos, los cuales se encargan de auxiliar en la absorción de nutrientes, protección contra patógenos, resistencia a condiciones extremas de sequía, tolerancia a metales pesados, salinidad y altas temperaturas (Rentería-Chávez *et al.*, 2017). Derivado de esto, la producción de bioinoculantes elaborados a base de hongos ectomicorrízicos ha cobrado gran importancia a nivel mundial por diferentes razones, una de ellas es la búsqueda de tecnologías que disminuyan el deterioro del ambiente, al utilizar organismos benéficos en el crecimiento vegetal y así evitar el uso excesivo de agroquímicos (Pérez-Moreno *et al.*, 2010; Rentería-Chávez *et al.*, 2017).

Pinus ayacahuite es una especie forestal de importancia económica y ecológica, ya que es la principal especie que se utiliza para la producción de árboles de navidad (Arteaga-León *et al.*, 2018). Se distribuye en México hasta Centroamérica, en altitudes entre los 2,200 y 3,000 metros, principalmente en lomas y cañadas, en clima templado cálido, con temperaturas medias anuales de 13°C y precipitaciones de 700 a 1,200 mm anuales (Ortiz-Medrano *et al.*, 2008; López *et al.*, 2018).

De acuerdo a lo anterior, es importante buscar mecanismos que incrementen los efectos en el ámbito de rehabilitación de ecosistemas con reforestaciones exitosas. Con la presente investigación se pretende generar una biotecnología basada en hongos ectomicorrízicos y el uso de *Lupinus montanus* inoculados con bacterias fijadoras de nitrógeno para lograr una mayor supervivencia de plantas en campo.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto en crecimiento, peso seco y porcentaje de colonización al asociar *L. montanus* inoculado con *Bradyrhizobium sp.* y/o al inocular el HEC *Laccaria laccata* en plantas de *Pinus ayacahuite* en invernadero. La hipótesis planteada fue que existe incremento en el crecimiento, en términos de altura, diámetro de tallo y peso seco de biomasa de plantas de *Pinus ayacahuite* inoculadas con el hongo comestible ectomicorrízico

Laccaria laccata y asociado con plantas de *Lupinus montanus* inoculadas con *Bradyrhizobium sp.*

Metodología

Material vegetal e inóculo

El experimento se estableció en el invernadero del Área de Micorizas y la evaluación en el Laboratorio de Microbiología del Postgrado en Edafología del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Las semillas de *P. ayacahuite* utilizadas fueron adquiridas con una comercializadora de semilla forestal. Las semillas se conservaron en refrigeración a 5 °C hasta su uso. Por otra parte, las semillas de *Lupinus montanus* y la cepa de la bacteria de *Bradyrhizobium* fueron colectadas y aislada de ejemplares silvestres presentes en bosques del Monte Tlálloc, en Texcoco, Estado de México.

Los esporomas utilizados para el inóculo fueron adquiridos del mercado de Ozumba, estado de México. El inóculo se obtuvo a partir de los púleos de *L. laccata*, los cuales fueron cortados de los estípites. Los púleos así obtenidos se deshidrataron a 35 °C durante 48 horas. Una vez deshidratados, se molieron y el tamaño de partícula del inóculo se homogeneizó con un tamiz con malla de 1.19 mm de diámetro de abertura. El inóculo se almacenó a 5 °C en viales de 1.5 mL hasta su uso.

Establecimiento del experimento

Previo a su siembra, se colocaron las semillas de cada especie en recipientes con agua destilada durante 24 horas con el fin de separar las semillas vanas o secas. Las semillas de *P. ayacahuite* fueron tratadas con peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 30% durante 20 minutos y se enjuagaron cuatro veces con agua destilada estéril. Por otro lado, a las semillas de *L. montanus* se le realizó una escarificación con ácido sulfúrico (H₂SO₄). Las semillas de *P. ayacahuite* fueron germinadas en tubetes de polipropileno de 130 cm³ y, posteriormente, se trasplantaron en tubetes cuadrados de 380 cm³ los cuales estaban fijados en la parte central de una maceta con capacidad de 5 kg. Asimismo, la siembra de *L. montanus* se efectuó de forma directa y a una profundidad de 2 cm en el contenedor de 5 kg y en la periferia del tubete con la planta de la especie forestal. El sustrato utilizado fue una mezcla de arena, corteza y suelo forestal (2:2:1), el cual fue esterilizado con vapor de agua a 1.3 kg-cm² y 125 °C durante 5 h.

La inoculación con el HEC se realizó durante el trasplante de la especie forestal a razón de 3 g por tubete y disperso en todo el cepellón de las plantas de los tratamientos correspondientes. Asimismo, las semillas de *L. montanus*, previo a la siembra, fueron inoculadas con una suspensión de 108 rizobios mL⁻¹.

Diseño experimental y variables evaluadas

Se realizó un diseño experimental completamente al azar, compuesto por cuatro tratamientos: *Pinus ayacahuite* inoculado con *L. laccata* y asociado con *L. montanus* (T4); *P. ayacahuite* inoculado con *L. laccata* y sin asociación con *L. montanus* (T3); *P. ayacahuite* asociado con *L. montanus* (T2) y *Pinus ayacahuite* sin inocular (Testigo) (T1). Cada tratamiento tuvo diez repeticiones y un total de 40 unidades experimentales. Se evaluó el diámetro del tallo, altura de las plantas, porcentaje de colonización ectomicorrízica y peso seco de la parte aérea y radical.

La evaluación de la colonización micorrízica es fundamental para explicar cualquier efecto en el crecimiento vegetal de las plantas, como consecuencia de la presencia de las especies ectomicorrízicas en las raíces de éstas. Para esto, se tomaron al azar cinco plantas de cada tratamiento para la evaluación de las variables. Posteriormente, se extrajeron los cepellones de los tubetes forestales. La parte radical se lavó bajo chorro de agua con baja presión y con ayuda de tres tamices de diferente diámetro de abertura (1.19, 0.180 y 0.085 mm), para reducir la pérdida de raíces cortas. La identificación de raíces vivas micorrizadas se realizó con un microscopio estereoscópico. Se contaron todas las raíces cortas del cepellón y se efectuaron cortes a mano para su análisis micromorfológico. El análisis se realizó con la toma de fotografías de las estructuras diagnósticas de la ectomicorriza: manto, red de Hartig y micelio externo (Agerer y Rambold, 2022).

Las variables evaluadas fueron sometidas a un análisis de varianza y a una prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

Resultados y discusión

Crecimiento vegetal

Las plantas inoculadas con el HEC, asociado o no con *L. montanus* inoculado con la bacteria fijadora de nitrógeno, tuvieron mayor altura, diámetro del tallo y peso seco total respecto a las plantas no inoculadas (Cuadro 1). El peso seco total de las plantas inoculadas con

el HEC y sin la asociación de *L. montanus* (T3) fue de 7.3 veces mayor y las plantas inoculadas con el HEC y asociado a *L. montanus* (T4) fue 5.9 veces mayor en comparación con las plantas no inoculadas. Un fenómeno similar se observó en el caso de la altura y el diámetro del tallo, las cuales fueron 2.3 (T3) y 2.4 (T4), y de 2.0 (T3) y 1.6 (T4) veces mayor que el testigo, respectivamente.

Diversos estudios han encontrado que la inoculación de plantas forestales con hongos ectomicorrízicos presenta efectos positivos, en términos de crecimiento y supervivencia, en plantas de vivero, así como en el establecimiento de plantaciones experimentales (Smith y Read, 2008). Las especies de *Pinus* en condiciones naturales están asociados con una gran diversidad de especies de hongos, por lo que diversos trabajos se han enfocado en la inoculación simultánea con más de una especie de hongo, observando efectos positivos en términos de crecimiento, absorción de nutrientes y supervivencia en campo (Turjaman *et al.*, 2006; Chávez *et al.*, 2009). Asimismo, Sudhakara-Reddy y Natarajan (1997), evaluaron la eficacia de la coinoculación de *L. laccata* y *Telephora terrestris* Pers. en *Pinus patula* en condiciones de invernadero. Encontraron un efecto sinérgico en el peso seco de la parte aérea, como resultado de la inoculación simultánea con hongos ectomicorrízicos.

Asimismo, Ramírez y Rodríguez (2009), encontraron que el uso de plantas nodriza como *Lupinus montanus* presenta efectos positivos con respecto a la altura y reservas de nutrientes (N, P, K) en el crecimiento de *Pinus hartwegii*.

Colonización ectomicorrízica

En cuanto a la colonización ectomicorrízica, en los tratamientos inoculados con el hongo ectomicorrízico no hubo diferencia significativa. Sin embargo, se obtuvo un mayor porcentaje de colonización en el tratamiento de *P. ayacahuite* inoculado únicamente con el HEC *L. laccata* (T3) (91.1%) (Cuadro 1). Las raíces cortas de los tratamientos inoculados con el HEC presentaron morfotipos dicotómicos con una longitud de 2 mm de color café rojizo, los cuales son característicos de la especie fúngica inoculada. De acuerdo con Méndez-Neri *et al.* (2011), una colonización mayor al 70 % es un indicador de que la especie de hongo inoculada se estableció extensivamente en las raíces de la especie forestal. Cabe mencionar, que en la presente investigación se observó la formación de esporomas de *L. laccata* en las tubetes

y macetas a los 300 días de la inoculación, lo cual corrobora la colonización por la especie de hongo ectomicorrízico en las raíces de la especie forestal bajo estudio.

Cuadro 1. Altura, diámetro del tallo, peso seco de la parte aérea y radical, y porcentaje de colonización ectomicorrízica de *P. ayacahuite* inoculadas y sin inocular con el HEC *L. laccata*.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Peso seco aérea (g)	Peso seco raíz (g)	Col. Ecto.* (%)
P. ayacahuite+L. laccata+L. montanus (T4)	32.43±16.61a	5.59±1.54a	5.70 ±1.86a	5.86±2.35a	74.9a
P. ayacahuite+L. laccata (T3)	31.15±15.5a	6.67±2.06a	6.94±3.57a	7.30±2.31a	91.1a
P. ayacahuite+L. montanus (T2)	15.15±2.54b	2.79±0.26b	0.96±0.65b	1.00±0.33b	0.00b
Testigo (T1)	13.59±1.87b	3.39±0.36b	1.08±0.25b	0.88±0.22b	0.00b

Los datos son promedios ± desviación estándar de la media (n=5) para altura, diámetro de tallo, peso seco y colonización ectomicorrízica. Valores con la misma letra en la misma columna no son diferentes según Tukey (P<0.05).*

Col. Ecto.= Colonización Ectomicorrízica.

Conclusiones

Las plantas inoculadas con el HEC presentaron incrementos conspicuos en biomasa de parte aérea y raíz respecto a las plantas no inoculadas. Un alto porcentaje de colonización por la especie ectomicorrízica se observó en los tratamientos inoculados. La caracterización morfológica de los morfotipos de la ectomicorriza y la formación de esporomas de *L. laccata*, 300 días después de la inoculación, corrobora la colonización de la especie inoculada. Debido a los altos porcentajes de micorrización y al efecto benéfico registrado, el hongo ectomicorrízico evaluado y la asociación con especies de *Lupinus* representa una importante fuente potencial para la inoculación biotecnológica de especies forestales de relevancia económica.

Literatura citada

Agerer R. y Rambold, G. (2014). DEEMY–An Information System for Characterization and Determination of Ectomycorrhizae. <http://www.deemy.de> – München, Germany (Consulta: Septiembre de 2022).

- Artega León, C., Pérez Moreno, J., Espinoza Victoria, D., Almaraz Suárez J.J., Silva Rojas H., Delgado-Alvarado A. (2018). Ectomycorrhizal inoculation with edible fungi increases plant growth and nutrient contents of *Pinus ayacahuite*. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 89: 1089-1099.
- Camargo Ricalde, S. L., Montaña, N. M., De la Rosa, C. J. y Montaña S. A. (2012). Micorrizas: una gran unión debajo del suelo. *Revista Digital Universitaria*, 13 (7), 3-19.
- López, B., Gálvez, P., Calleja, B., Méndez, J y Ríos J.M. (2018). Sustratos orgánicos en la germinación y crecimiento de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* (Roetzl) Shaw en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9 (49), 1-15.
- Mellal, H., Yacine, B., Boukaous, L., Khouni S., Benguerdouar A., Castellano Hinojosa, A y Bedmar E. (2019) Phylogenetic diversity of *Bradyrhizobium* strains isolated from root nodules of *Lupinus angustifolius* grown wild in the North East. *Systematic and Applied Microbiology*. 42, 397–402.
- Méndez Neri, M., Pérez Moreno, J., Quintero, R., Hernández, E y Lara, A. (2011). Crecimiento y contenido nutrimental de *Pinus greggii* inoculado con tres hongos comestibles ectomicorrízicos. *Terra Latinoamericana*, 29,73-81.
- Ortiz Medrano, A., Moreno Letelier, A. y Piñero D. (2008). fragmentación y expansión demográfica en las poblaciones mexicanas de *Pinus ayacahuite* var. *ayacahuite*. *Bol.Soc.Bot.Méx*, 83, 25-36
- Pablo Pérez, M., Lagunes Espinoza L., López Upton, J., Arand -Ibañez E.M., Ramos Juárez J. (2015). Composición química de especies silvestres del género *lupinus* del estado de Puebla, México. *Rev. Fitotec. Mex*, 38, 49 -55.
- Pérez Moreno, J., Lorenzana Fernández, A, Carrasco Hernández, V y Yesca-Pérez, A. 2010. Los hongos comestibles silvestres del Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y Anexos. Colegio de postgraduados. SEMARNAT, CONACyT, Montecillo, Texcoco, Edo de México. 167 p.
- Ramírez Contreras, A. y Rodríguez Trejo (2009). Plantas nodrizas en la reforestación con *Pinus hartwegii* Lindl. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del ambiente*, 15,43-48.
- Rentería Chávez, M.C., Pérez Moreno J., Cetina Alcalá, V.M., Ferre-

- to Cerrato R y Xoconostle Cázares, B. (2017). Transferencia de nutrientes y crecimiento de *Pinus greggii* Engelm. inoculado con hongos comestibles ectomicorrízicos en dos sustratos. *Rev Argent Microbiol*, 49(1),93-104.
- Smith, S.E y Read, D.J (2008). Mycorrhizal symbiosis. Third edition. Academic press, New york, usa.
- Sudhakara Reddy, M y Natarajan K (1997). Coinoculation efficacy of ectomycorrhizal fungi on *pinus patula* seedlings in a nursery. *myrorrhiza* 7, 133-138.
- Zamora, J. F., Zapata, I. y Villalvazo, A. (2019). Fijación biológica del nitrógeno en tres especies silvestres del género *Lupinus* (*Leguminosae*, *Papilionoideae*) en México. *Acta Botánica Mexicana*, 126, 1- 6.

MODELOS VOLUMÉTRICOS FUSTALES PARA *Cordia alliodora* (RUIZ & PAV.) OKEN EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ EN TEZONAPA, VERACRUZ

Ángel V. Contreras Martínez¹, Rolando M. Tlaxcala Méndez²,
María del C. Pablo Mendoza² y Martín Aquino Ramírez³

Resumen

La medición directa del volumen maderable de árboles en pie resulta difícil de realizar, por esta razón, normalmente se estima de forma indirecta a través de los modelos alométricos de volumen fustal. Sin embargo, la falta de estas herramientas cuantitativas, para árboles de xochicuahuatl [*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken] bajo sistemas agroforestales de café (SAFC) en Tezonapa, podría generar pérdidas económicas para los productores, ya que, la comercialización de los árboles se realiza por apreciación directa. En este sentido, el objetivo del presente trabajo, fue ajustar cinco modelos volumétricos fustales para xochicuahuatl presente en los SAFC de la región de Tezonapa, Veracruz. Para esto, se midieron 78 árboles de xochicuahuatl por el método no destructivo, a los que se les registro el diámetro normal (Dn), altura total (H), diámetros parciales (d), alturas parciales (h) y volumen de fuste (Vf). Se ajustaron tres modelos lineales y dos no lineales, la selección de estos se realizó con base en cinco criterios de bondad de ajuste y a un sistema de puntuación *ad hoc*. A nivel general todos los modelos presentaron parámetros altamente significativos; sin embargo, se determinó que el modelo de Schumacher-Hall con intercepto fue el mejor por obtener el mejor puntaje. Para finalizar,

1. Estudiante, Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, Campus Tezonapa.

2. Investigador (a) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental El Palmar. Tezonapa, Veracruz, México.

3. Investigador, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Edzná. Campeche, Campeche, México. *Autor para correspondencia: 186w0094@zongolica.tecnm.mx

se concluye que este modelo puede emplearse para estimar el volumen maderable de los árboles en pie de xochicuahuatl presentes en los SAFC de Tezonapa, Veracruz.

Palabras clave: factor de forma, razón volumen-área basal, Schumacher-Hall, sistema de puntuación ad hoc, xochicuahuatl

Abstract

The direct measurement of the timber volume of standing trees is difficult to carry out, for this reason, it is normally estimated indirectly through allometric models of stem volume. However, the lack of these quantitative tools, for xochicuahuatl trees [*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken] under coffee agroforestry systems (CAFS) in Tezonapa, could generate economic losses for producers, since the commercialization of trees is done by direct appreciation. In this context, the objective of this work was to fit five stem volumetric models for xochicuahuatl present in the CAFS of the Tezonapa region, Veracruz. For this, 78 xochicuahuatl trees were measured by the non-destructive method, recording the diameter at breast height (DBH), total height (H), partial diameters (d), partial heights (h) and stem volume (Vf). Three linear and two non-linear models were fitted, their selection was made based on five goodness of fit statistics and an ad hoc scoring system. At a general level, all the models presented highly significant parameters; however, the Schumacher-Hall model with intercept was the best because the ad hoc scoring system obtained a better score. Finally, it is concluded that this model can be used to estimate the timber volume of standing xochicuahuatl trees present in the CAFS of Tezonapa, Veracruz.

Keywords: form factor, volume/baseline area ratio, Schumacher-Hall, ad hoc scoring system, xochicuahuatl

Introducción

La estimación del volumen maderable es la base para cuantificar los productos forestales para su comercialización. Sin embargo, la medición directa de esta variable es difícil de realizar en árboles en pie; por esta razón, se realiza normalmente de forma indirecta a través de los modelos alométricos de volumen fustal (Vargas-Larreta *et al.*, 2018).

Por otro lado, la especie maderable xochicuahuatl [*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken] es una de las más frecuentes dentro de los sistemas agroforestales de café (SAFC) y es comúnmente asociada

también con plantaciones de cacao y plátano (Pineda-Herrera *et al.*, 2018). Los árboles de xochicuahuatl presentes en los SAFC de la región de Tezonapa Veracruz, se desarrollan bajo regeneración natural, son de crecimiento rápido, presentan auto-poda y generalmente tienen fustes con ramificación monopodial (Beer, 1986). El xochicuahuatl figura como una especie noble ya que demanda un escaso control silvicultural y los productores regulan las densidades con base en el manejo del cultivo en el SAFC, además, los productores de la región prefieren esta especie por la calidad de su madera. Una de las necesidades que tiene el sector agroforestal de café en la región, es contar con herramientas cuantitativas, como los modelos alométricos de volumen fustal que permitan estimar las existencias y producción maderables de los árboles en pie dentro de las fincas, debido a que la comercialización del arbolado en pie se realiza por apreciación directa de los árboles entre el productor y el comprador, esta situación podría generar pérdidas económicas para el productor.

Por lo anterior, y debido a la falta de modelos alométricos de volumen específicos para especies tropicales con ámbitos de crecimiento en sistemas agroforestales, bajo condiciones agroecológicas particulares, especies asociadas, y tipo de manejo, el objetivo del presente trabajo, fue ajustar cinco modelos volumétricos fustales para xochicuahuatl presente en los SAFC de la región de Tezonapa, Veracruz. La hipótesis es que al menos uno de los modelos alométricos presentara una mejor bondad de ajuste con respecto a las restantes. Con esto, se busca contribuir en la cadena de proyectos de investigación y transferencia de tecnología en beneficio de los productores de esta región para mejorar el manejo de los recursos maderable de sus SAFC.

Metodología

ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en poblaciones de xochicuahuatl [*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken] bajo Sistemas Agroforestales de Café (SAFC), con un rango altitudinal de 60 a 150 m., localizados en las comunidades de Atlizacuapa, Ixtacapa el Chico, El Suspiro, Rancho Nuevo, El Campo Experimental El Palmar y Puente Chilapa, mismos que pertenecen al municipio de Tezonapa, Veracruz. El área de estudio se encuentra entre los paralelos 18° 27' y 18° 33' de latitud norte y, los meridianos 96° 42' y 96° 47' de longitud oeste. Fisiográficamente se localiza entre la Sierra Madre del Sur y la Llanura Costera del Golfo

Sur. El clima es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano con una precipitación que varía de 2, 400 a 3, 100 mm y, una temperatura promedio de 18 a 26° C. Los suelos predominantes son el Leptosol, Luvisol, Acrisol y Vertisol (INEGI, 2010).

TOMA DE DATOS

Durante los meses de agosto y septiembre de 2022 se realizaron recorridos de campo en SAFC de diferentes comunidades del municipio de Tezonapa Veracruz. De manera aleatoria se seleccionaron y midieron, por el método no destructivo, árboles de xochicuahuítl presentes en estos cafetales bajo sombra diversificada, considerando la disposición de los propietarios. Se consideraron solo árboles sanos, completos, con un solo fuste lo más recto posible y sistema de ramificación monopodial; se evitaron en lo posible árboles aislados e individuos presentes en los bordes de los SAFC. Se registraron los datos de diámetros y alturas parciales (d_i y h_i), en diferentes secciones sobre los fustes de cada árbol tratando de abarcar todos los diámetros normales (D_n) y alturas totales (H) que presentaba la especie en los diferentes sitios. Se midieron 78 individuos según la metodología sugerida por García-Espinoza *et al.* (2019). Los diámetros y alturas parciales accesibles, se midieron de forma directa usando una cinta diamétrica. Se registró el diámetro del árbol a ras de suelo (d base y h_0), después se registró el diámetro a la altura del tocón ($d_{\text{tocón}}$ y $h_{\text{tocón}}$, a 0.30 m sobre el suelo), posteriormente se realizó la medición a 0.60 m, y a 1.30 m (D_n) con respecto al suelo. Para la parte no alcanzable de los fustes, los diámetros y alturas de las secciones resultantes (d_i y h_i) se obtuvieron de forma indirecta con un Dendrómetro Criterion RD1000® y se midieron cada 1.5 m a partir del D_n hasta llegar a la altura total y el diámetro igual a cero (H y d_0). Con este procedimiento se obtuvieron 1,599 pares de datos de diámetro-altura, con los cuales se calcularon los volúmenes fustales mediante la fórmula de Smalian y la fórmula del cono.

AJUSTE DE MODELOS DE VOLUMEN

Se ajustaron cinco modelos de volumen fustal (Cuadro 1), incluyendo lineales y no lineales, donde, el diámetro normal (cm) y altura total (m) fueron las variables independientes y el volumen de fuste (m^3) fue la variable respuesta. Para la estimación de los parámetros de los modelos se utilizó el procedimiento "PROC MODEL" de SAS/ETS (SAS Institute Inc., 2004).

Cuadro 1. Modelos de volumen fustal ajustados para xochicuahuítl

Modelo	Ecuación	Forma
1. Variable combinada clásico	$V_f = \alpha_0 + \alpha_1 D_n^2 H + \varepsilon$	Lineal
2. Kopecky-Gehrhardt	$V_f = \alpha_0 + \alpha_1 D_n^2 + \varepsilon$	Lineal
3. Generalizado	$V_f = \alpha_0 + \alpha_1 D_n^2 H + \alpha_2 D_n^2 + \alpha_3 H + \varepsilon$	Lineal
4. Schumacher-Hall con intercepto	$V_f = \alpha_0 + \alpha_1 D_n^{\alpha_2} H^{\alpha_3} + \varepsilon$	No lineal
5. Takata	$V_f = D_n^2 H / (\alpha_0 + \alpha_1 D_n) + \varepsilon$	No lineal

Donde V_f es el volumen del fuste en m^3 ; D_n es el diámetro normal en cm; H es la altura total en m; α_0 , α_1 , α_2 , α_3 son los parámetros a estimar y ε es el error del modelo.

EVALUACIÓN DE LA BONDAD DE AJUSTE DE LOS MODELOS

Para comparar y seleccionar el mejor modelo se consideró: el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{Adj}), que mide la variabilidad explicada por el modelo, la raíz de los cuadrados medios del error (RMSE) que proporciona la medida de las diferencias en promedio entre los valores estimados y los observados, el coeficiente de variación en porcentaje (CV %) que explica la variabilidad relativa en relación con la respuesta media de la variable dependiente y el sesgo promedio absoluto, el error relativo promedio en porcentaje (\bar{E}) y el sesgo promedio (\bar{s}) que permiten evaluar el comportamiento del modelo (Cuadro 2) (Aquino-Ramírez *et al.*, 2015).

Cuadro 2. Criterios de bondad para el ajuste de los modelos de volumen para xochicuahuítl.

Criterio	Expresión
1.- Coeficiente de determinación ajustado	$R^2_{Adj} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n - p)}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / (n - 1)}$
2.- Raíz de los cuadrados medios del error	$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n - p)}$
3.- Coeficiente de variación en porcentaje	$CV(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n - p)}}{\bar{y}} \times 100$
4.- Error relativo promedio en porcentaje	$\bar{E}(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^n \frac{\hat{y}_i - y_i}{y_i}$
5.- Sesgo promedio	$\bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{n}$

Donde y_i , \hat{y}_i , y \bar{y} es el volumen total del árbol observado, estimado y medio respectivamente; n es el número de observaciones y p es el número de parámetros del modelo.

De forma complementaria se utilizó el sistema de calificación *ad hoc*, que permite identificar el modelo con mejor bondad de ajuste al comparar los criterios del Cuadro 2 y asignarles una calificación, de tal forma que el mejor modelo es el que obtenga la menor puntuación. El intervalo de calificación fue de 1 a 5.

Resultados y Discusión

De forma general los cinco modelos presentaron parámetros estadísticamente significativos ($p < 0.05$) (Cuadro 3). Es importante destacar que el modelo 1 de la variable combina con intercepto, indica en el parámetro de la pendiente (α_1) un factor de forma en los fustes de xochicuahuítl de 0.48 muy cercano al paraboloides (Guzmán-Santiago *et al.*, 2022), el factor de forma se estimó como $ff = \frac{40,000}{\pi} \times \alpha_1$. Este valor de forma es similar a *Manilkara zapota* (L.) P. Royen de 0.48 reportado por Hernández-Ramos *et al.* (2021) y *Cedrela odorata* L. de 0.44 (Tlaxcala-Méndez *et al.*, 2016). La similitud geométrica del xochicuahuítl con otras especies tropicales, probablemente se deba a factores ambientales, su genotipo y su interacción. Por otro lado, el modelo 2 de Kopecky-Gehrhardt muestra en el parámetro de la pendiente (α_1) una razón del volumen maderable existente en m3 por m2 de área basal, en este contexto se tiene una razón de 19.08 m3 de madera por m2 de área basal. La razón (R) del volumen-área basal se calculó como $R = \frac{40,000}{\pi} \times \alpha_1$.

Cuadro 3. Parámetros y estadísticos de los modelos ajustados para estimar el volumen fustal en xochicuahuítl.

Modelo	Parámetro	Estimador	EE†	Valor de t	Pr > t
1	α_0	0.085621	0.0185	4.62	<0.0001
	α_1	0.000038	5.6 E-7	68.16	<0.0001
2	α_0	-0.23878	0.0316	-7.56	<0.0001
	α_1	0.001499	3.1 E-5	48.01	<0.0001
3	α_0	-0.29699	0.0733	-4.05	0.0001
	α_1	0.000024	3.1 E-6	7.49	<0.0001
	α_2	0.000475	1.1 E-4	4.04	0.0001
	α_3	0.012928	0.0028	4.60	<0.0001

4	α_0	-0.11883	0.0433	-2.75	0.0076
	α_1	0.000224	7.2 E-5	3.10	0.0027
	α_2	1.739286	0.055	31.56	<0.0001
	α_3	0.805652	0.078	10.25	<0.0001
5	α_0	19369.89	719.6	26.92	<0.0001
	α_1	126.0802	16.95	7.43	<0.0001

†EE: error estándar de los parámetros.

En general los cinco modelos ajustados presentaron altos valores en el R2Adj y bajos valores en la RMSE, CV, y β (Cuadro 4). Cabe destacar, dado que la variable respuesta (volumen fustal) no sufrió alguna transformación como la escala logarítmica en los modelos, no se tuvo la necesidad de utilizar otro criterio adicional de bondad de ajuste como el índice de Furnival para poder compararlos (Moret *et al.*, 1998).

Cuadro 4. Estadísticos de la bondad de ajuste de los modelos de volumen fustal en xochicuahuítl.

Modelo	RMSE† (m³)	CV‡ (%)	β (%)	§ (m³)	R² Adj ¶
1	0.110	10.786	5.130	0.010	0.984
2	0.155	15.195	1.275	4.0 E-5	0.968
3	0.094	9.238	2.358	0.003	0.988
4	0.092	9.013	0.484	0.002	0.989
5	0.095	9.268	3.495	0.006	0.988

†RMSE: Raíz de los cuadrados medios del error; ‡CV: coeficiente de variación; β : error relativo estándar promedio; § sesgo promedio; ¶R2Adj coeficiente de determinación ajustado.

Una vez evaluados los modelos de acuerdo con el sistema de calificación *ad hoc* (Cuadro 5) los dos mejores fueron el 4 de Schumacher-Hall con intercepto en su forma no lineal y el modelo 3 Generalizado en su forma lineal, en este orden de importancia. Ya que obtuvieron las mejores calificaciones. Por lo tanto, pueden emplearse

para estimar el volumen maderable de los árboles en pie de xochicuahuil presentes en los SAFC de Tezonapa, Veracruz. Por lo regular el modelo de Schumacher-Hall es uno de los que tiene mejor ajuste a las especies tropicales (Silva *et al.*, 2009; Hernández-Ramos *et al.*, 2021).

Cuadro 5. Sistema de calificación ad hoc para los modelos de volumen de fuste en xochicuahuil.

Modelo	RMSE† (m3)	Calificaciones					Total
		CV‡ (%)	P (%)	§ (m3)	R2Adj¶	Parámetros	
1	4	4	5	5	4	2	25
2	5	5	2	1	5	2	22
3	2	2	3	3	2	4	19
4	1	1	1	2	1	4	14
5	3	3	4	4	2	2	23

†RMSE: Raíz de los cuadrados medios del error; ‡CV: coeficiente de variación; P: error relativo estándar promedio; § sesgo promedio; ¶R2Adj coeficiente de determinación ajustado.

Conclusiones

Todos los modelos ajustados presentaron parámetros estadísticamente significativos ($p < 0.05$). En este contexto, el factor de forma dado por el parámetro α_1 , del modelo 1 de la variable combinada clásico, fue de 0.48. A través de este resultado se puede observar que la especie xochicuahuil presente en los SAFC de la región de Tezonapa, Veracruz presentan una forma geométrica cercana a un paraboloides. El modelo 2 de Kopecky-Gehrhardt permite obtener la razón del volumen-área basal, el cual fue de 19.08 m³ de madera por m² de área basal. Para finalizar, se determinó que el modelo 4 de Schumacher-Hall con intercepto en su forma no lineal presentó el mejor ajuste a los datos dasométricos, por lo tanto, se puede emplear para estimar el volumen fustal maderable de árboles de xochicuahuil en los SAFC en Tezonapa, Veracruz.

Literatura Citada

Aquino-Ramírez, M., Velázquez-Martínez, A., Castellanos-Bolaños, J. F., De los Santos-Posadas, H., & Etchevers-Barra, J. D. (2015). Partición de la biomasa aérea en tres especies arbóreas tropicales.

- Agrociencia, 49(3), 299-314.
- Beer, E. S. J. (1986). Dimensiones, volúmenes y crecimiento de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales (No. 16). CATIE.
- García-Espinoza, G. G., Aguirre-Calderón, O. A., Vargas-Larreta, B., Martínez-Ángel, L., García-Magaña, J. J., & Hernández-Ramos, J. (2019). Sistema compatible de ahusamiento y volumen comercial de *Pinus pseudostrobus* Lindl. En Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. Agrociencia, 53(1), 115-131.
- Guzmán-Santiago, J. C., Vargas-Larreta, B., Gómez-Cárdenas, M., & Quiñonez-Barraza, G. (2022). Función ahusamiento-volumen comercial de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. en varias regiones de México. Colombia forestal, 25(1), 77-94.
- Hernández-Ramos, J., García-Cuevas, X., Hernández-Ramos, A., Tamarit-Urías, J. C., & Buendía-Rodríguez, E. (2021). Modelos para estimar volumen fustal y ahusamiento para *Manilkara zapota* (L.) P. Royen en Quintana Roo, México. Acta Universitaria 31, e3067. doi: <http://doi.org/10.15174.au.2021.3067>
- INEGI. (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010 Tezonapa Veracruz de Ignacio de la Llave. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Moret, A. Y., Jerez, M., & Mora, A. (1998). Determinación de ecuaciones de volumen para plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.) en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Caparo, Estado Barinas-Venezuela. Revista Forestal Venezolana, 42(1), 41-50.
- Pineda-Herrera, E., Manzano-Méndez, F., Valdez-Hernández, J., & Beltrán-Rodríguez, L. (2018). Crecimiento diamétrico de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken en un sistema agroforestal de Oaxaca, México. Revista Forestal Mesoamericana Kurú, 15(37), 25-33 pp. doi:10.18845/rfmk.v15i37.3600
- SAS Institute Inc. (2004). SAS/ETS® 9.1 User's Guide. Cary, NC. 2416 p.
- Silva, M. L. M. D., Binoti, D. H. B., Gleriani, J. M., & Leite, H. G. (2009). Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvores de eucalipto. Revista *Árvore*, 33, 1133-1139.
- Tlaxcala-Méndez, R. M., Santos-Posadas, H. M., Hernández-de la Rosa, P., & López-Ayala, J. L. (2016). Variación del factor de forma y el ahusamiento en procedencias de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.). Agrociencia, 50(1), 89-105.

Vargas-Larreta, B., Aguirre-Calderón, O. A., Aguirre-Calderón, C. G., Zamudio-Sánchez, F. J., López-Martínez, J. O., Corral-Rivas, J. J., Treviño-Garza, E. J., De los Santos-Posadas, H. M., Martínez-Salvador, M. (2018). Manual del Sistema Biométrico Forestal (SIBIFOR): Herramientas para el manejo de los bosques templados y tropicales de México.

Bioeconomía Forestal, compilado por
René García Martínez, Felipe Neri Hernández Soto,
Hotón Sánchez Aguilar, José Antonio de la Cruz Hernández,
Tadeo Noble Alfredo Esteban y Salvador Ordaz Silva, se terminó
de editar en el mes de diciembre de 2022 en Editorial Incunabula