



Germinación, crecimiento inicial y morfología de *Castilla elastica* (Moraceae) en Tabasco, México

Germination, initial growth and morphology of *Castilla elastica* (Moraceae) in Tabasco, Mexico

José P. Custodio-Rodríguez¹, Georgina Vargas-Simón^{1,2}, Wilfrido M. Contreras-Sánchez¹

Resumen:

Antecedentes y Objetivos: *Castilla elastica* es una especie nativa de Mesoamérica asociada a diferentes culturas prehispánicas que utilizaban su látex para fines ceremoniales. Es un árbol emblemático, útil en sistemas agroforestales. Este trabajo tuvo por objetivo evaluar la germinación, crecimiento inicial y morfología de *C. elastica*.

Métodos: Se colectaron semillas de 30 árboles y se sembraron en bandejas de polietileno. El inicio de la germinación se determinó por la emergencia de los epicótilos. Se cuantificó el porcentaje de germinación y se establecieron tres periodos de evaluación del crecimiento cada 45 días. Se evaluaron la longitud de tallo (Lt) y el diámetro de tallo (Db). Se obtuvo la tasa absoluta de crecimiento (TAC) y la tasa relativa de crecimiento (TRC). Adicionalmente, se realizaron pruebas de regresión simple entre Lt y Db y se calculó una regresión asociando la TAC de la Lt con algunas variables climáticas. La evaluación del crecimiento tuvo una duración de 205 días.

Resultados clave: Se obtuvo 100% de germinación, el proceso inició a los 12 días. A los 205 días, las plantas alcanzaron una Lt y un Db promedio (± 1 DE) de 36.5 cm (± 5.27) y 8.2 mm (± 0.55), respectivamente. Los tres periodos de evaluación mostraron diferencias estadísticas significativas. De acuerdo con los modelos de regresión, *C. elastica* crece 0.188 cm día⁻¹ por cada milímetro de incremento en Db.

Conclusiones: La utilización de semillas recién cosechadas asegura 100% de la germinación. Se obtuvieron diferentes etapas de desarrollo de la plántula en función del tiempo (205 días). La TRC disminuyó después de la primera evaluación atribuible a la radiación solar. Este trabajo demostró la factibilidad de producir plantas de *C. elastica* y contar con el requisito mínimo como planta de calidad en cuanto a la Lt y Db promedio.

Palabras clave: eófilos, fenología, plántulas, radiación solar, semillas, tasas de crecimiento.

Abstract:

Background and Aims: *Castilla elastica* is a Mesoamerican native species associated with different Prehispanic cultures that used their latex for ceremonial purposes. It is considered an emblematic tree, useful in agroforestry systems. This work aimed to evaluate the germination, initial growth and morphology of *C. elastica*.

Methods: Seeds from 30 trees were collected and planted in polyethylene trays. The start of the germination was determined by the sprouting of the epicotyls. The percentage of germination was quantified, and three periods of evaluation were established, every 45 days. Stem length (Lt) and basal stem diameter (Db) were evaluated. Absolute (RGA) and relative (RGR) growth rates were also obtained. Additionally, simple regression tests were made, and a regression was calculated associating RGA from Lt against some climatic variables. Growth evaluation of the plants lasted 205 days.

Key results: Germination was obtained in 100%, the process initiated at 12 days. At 205 days, plants reached an average (± 1 SD) Lt and Db of 36.5 cm (± 5.27) and 8.2 mm (± 0.55), respectively. The three evaluation periods showed significant statistical differences. According to regression models, *C. elastica* grows 0.188 cm day⁻¹ for each millimeter of increase in Db.

Conclusions: The use of recently harvested seeds guarantees 100% germination. Different stages of development of the seedling depending on the time (205 days) were obtained. The RGR decreased after the first evaluation, being attributable to the solar radiation. This work demonstrated the feasibility of producing *C. elastica* plants, reaching the minimal required quality standards in terms of its average Lt and Db.

Key words: eophylls, growth rates, phenology, seedlings, seeds, solar radiation.

¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas, Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5, 86039 Villahermosa, Tabasco, México.

²Autor para la correspondencia: georgina.vargas@ujat.mx

Editor de sección: Moisés Méndez Toribio.

Recibido: 9 de febrero de 2021.

Revisado: 10 de mayo de 2021.

Aceptado por Moisés Méndez Toribio: 21 de enero de 2022.

Publicado Primero en línea: 14 de febrero de 2022.

Publicado: Acta Botanica Mexicana 129 (2022).



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

Citar como: Custodio-Rodríguez, J. P., G. Vargas-Simón y W. M. Contreras-Sánchez. 2022. Germinación, crecimiento inicial y morfología de *Castilla elastica* (Moraceae) en Tabasco, México. Acta Botanica Mexicana 129: e1857. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1857>

e-ISSN: 2448-7589

Introducción

El árbol del hule (*Castilla elastica* Cerv., Moraceae), originario de Mesoamérica, es una planta con usos tradicionales que se remontan a culturas prehispánicas como la Olmeca, Maya, Zapoteca y Totonaca; fue uno de los primeros árboles utilizados para la obtención de látex hace más de 1500 años (Larqué-Saavedra, 2016). Su látex tiene uso medicinal, pero principalmente se ha utilizado en la elaboración de pelotas de hule, usadas en el juego prehispánico y como parte de ofrendas (Stone, 2002; Carreón-Blaine, 2016). Durante los siglos XX y principios del XXI, el látex de *C. elastica* se utilizaba como materia prima para elaborar pelotas, impermeables, botas y calzoneras (Vaylón, 2012; Sánchez, 2020). Actualmente se le desconoce un uso industrial, debido a que ha sido desplazada por *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg. A la fecha, aún se conservan sus usos medicinales y artesanales en zonas rurales y para la elaboración de las pelotas en los juegos latinoamericanos de ulama (Vaylón, 2012; GU, 2020; Sánchez, 2020).

Los hábitats naturales de *C. elastica* son los bosques tropicales perennifolios, subcaducifolios y subperennifolios, además de los sistemas agroforestales como cafetales, cacaoales y cercos vivos (Cruz-Lara, et al., 2004; Montero, 2021). La especie se distribuye desde México hasta Brasil (Cordero y Boshier, 2003). En México se encuentra tanto en el Golfo de México como en el Pacífico y el Caribe; desde el sur de San Luis Potosí hasta Yucatán, y desde Sinaloa hasta Chiapas (Pennington y Sarukhán, 2005).

El deterioro de algunos de esos ecosistemas tropicales ha hecho necesaria la intervención humana para restaurarlos (Ramos-Reyes et al., 2016). Entre las iniciativas destacan aquellas que proponen para restaurar los ecosistemas, el uso de especies nativas, ya que estas tienen como principal ventaja el estar adaptadas al ambiente, tener mayor oportunidad de sobrevivencia y el contribuir a la conservación de la diversidad (Moya-Roque y Tenorio-Monge, 2013). Por otra parte, si es posible utilizar métodos de restauración pasiva (Meli et al., 2015), se ha propuesto a *Castilla elastica* en áreas ribereñas y sin competencia de malezas como es el caso de la zona lacandona de Chiapas, México (Meli et al., 2013).

Los estudios sobre germinación y crecimiento del árbol del hule bajo condiciones de vivero son escasos. En la Estación Biológica La Selva, en Heredia, Costa Rica, cuya zona ha sido clasificada como bosque húmedo tropical, *C. elastica* presentó porcentajes máximos de germinación de 75% (González, 1991); mientras que en Panamá se registró 86% bajo condiciones de vivero, la temperatura ambiental registrada fue de 25-31 °C, con 30% de luminosidad (Sautu et al., 2006). En ensayos a plena luz y en sombra, se observó que la supervivencia y crecimiento del árbol del hule fue mejor en condiciones de sombra, obteniéndose 87% para la primera variable y una altura de 4.3 m de alto en tres años. El trabajo se realizó en el bosque lluvioso de la Estación Biológica La Selva, Heredia, Costa Rica, con 4000 mm de precipitación y 21 °C de temperatura media anual (Cordero y Boshier, 2003).

La obtención de las fases de desarrollo y el conocimiento de la morfología de las plántulas es una herramienta útil en pruebas de germinación y para la identificación de especies en campo (Ibarra-Manríquez et al., 2001). Dicha información es necesaria cuando se realizan monitoreos de regeneración natural en la sucesión ecológica de selvas (Polanía et al., 2020), ya que las características de plántulas y juveniles de algunos árboles se diferencian de las etapas adultas y la diversidad morfológica es mayor en especies tropicales (Duke, 1969; De Voguel, 1980; Garwood, 1996; Ibarra-Manríquez et al., 2001).

Los ensayos de germinación y evaluación del desarrollo de las plantas en sus primeras etapas son elementos esenciales para su producción masiva (Benítez et al., 2002; González et al., 2014). Este árbol tiene importancia ecológica dada su ventaja de fijar hasta 4 Mg C ha⁻¹ y por su respuesta positiva a altas concentraciones de CO₂ (350-400 ppm) (Winter y Lovelock, 1999); característica útil en tiempos actuales, ya que el bióxido de carbono en la atmósfera es el principal gas que ha provocado el cambio climático actual. Entonces, los resultados de este estudio servirán para la propagación de la especie y podrá ser utilizada con mayor frecuencia en sistemas agroforestales o en programas de restauración en ecosistemas ribereños de zonas tropicales. Así, el objetivo de este trabajo fue obtener datos sobre el proceso germinativo, morfología y de crecimiento de *C. elastica*, además de calcular un modelo de crecimiento de la especie.



Materiales y Métodos

Especie de estudio

Castilla elastica es un árbol que llega a medir hasta 25 m de altura con un diámetro normal promedio de 60 cm, se trata de una especie monoica-androdioica, con infrutescencia sésil, dispuesta en un receptáculo con brácteas gruesas oblongo-lanceoladas aterciopeladas de 4-5 cm de diámetro; aquenios entre 10-45 en cada receptáculo; cada fruto está rodeado de un perianto carnoso de color naranja-rojizo cuando está maduro (Pittier, 1910; Sakai, 2001; Pennington y Sarukhán, 2005). Las semillas son más o menos ovoides, 9.6 a 10 mm de largo y 6.2 a 6.8 mm de diámetro (Pittier, 1910; Pennington y Sarukhán, 2005) (Fig. 1).

Colecta y siembra

El 19 de mayo de 2018 se colectaron 767 frutos maduros (cuando estos presentaban el perianto de color naranja), de 30 árboles adultos de *C. elastica* ubicados en un cerco vivo en el municipio Paraíso, Tabasco, México (18°21'14"N, 93°12'51"O; Google Earth, 2012). El clima en el área es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Am) y la temperatura media anual es de 26.5 °C con una precipitación anual de 1800 mm (Aceves-Navarro y Rivera-Hernández, 2019). Los frutos colectados fueron trasladados al Laboratorio de Fisiología Vegetal de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBio) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), para su limpieza.

Se seleccionaron frutos sanos y sin manchas oscuras que pudieran ser indicio de un problema fitopatológico. Posteriormente los frutos conteniendo las semillas se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 5% por 10 minutos,

se dejaron escurrir y se sembraron el 20 de mayo de 2018. El sustrato para su germinación consistió en una mezcla de Peat moss (60%), Vermiculita G2 8.5 (20%) y Agrolita hidro (20%), a la que se le adicionó 1 kg de fertilizante Multicote 8 (18-06-12 de N-P-K), recomendado por SEMARNAT (2014). El riego se realizó a saturación del sustrato cada tres días o *ad libitum* con agua potable.

Para evaluar la tasa de germinación se utilizaron ocho charolas forestales de 54 alvéolos cónicos de 13 cm de altura con un diámetro superior de 4.9 cm y uno inferior de 3.5 cm. Se sembraron dos semillas por alvéolo. La siembra fue alternada para prevenir la competencia entre plántulas durante su crecimiento, de acuerdo con una experiencia previa (datos no mostrados).

El inicio de la germinación se determinó en el momento de la emergencia de los epicótilos. Debido a que germinó al menos una semilla por alvéolo a los 40 días después de la siembra se dejó solo una plántula por alvéolo, es decir 27 plántulas por bandeja. Las bandejas se colocaron dentro del invernadero en las instalaciones de la DACBio hasta que produjeron sus primeros eófilos: primeras hojas de las plántulas (Duke, 1969; De Vogue, 1980).

Las condiciones ambientales en la fase de invernadero de los primeros 70 días fueron las siguientes: temperatura promedio (± 1 DE) máxima de 38.0 °C (± 4.6), mínima de 23.4 °C (± 1.8) y humedad relativa de 70.5% (± 7.5). La radiación fotosintéticamente activa (PAR) fue medida en días soleados a las 9:00, 12:00 y 15:00 horas, los promedios, \pm una desviación estándar fueron: 25.3 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1} \pm 0.5$, 1202 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1} \pm 3.3$ y 1430.0 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1} \pm 8.8$ en días soleados. La temperatura se midió con un termómetro de

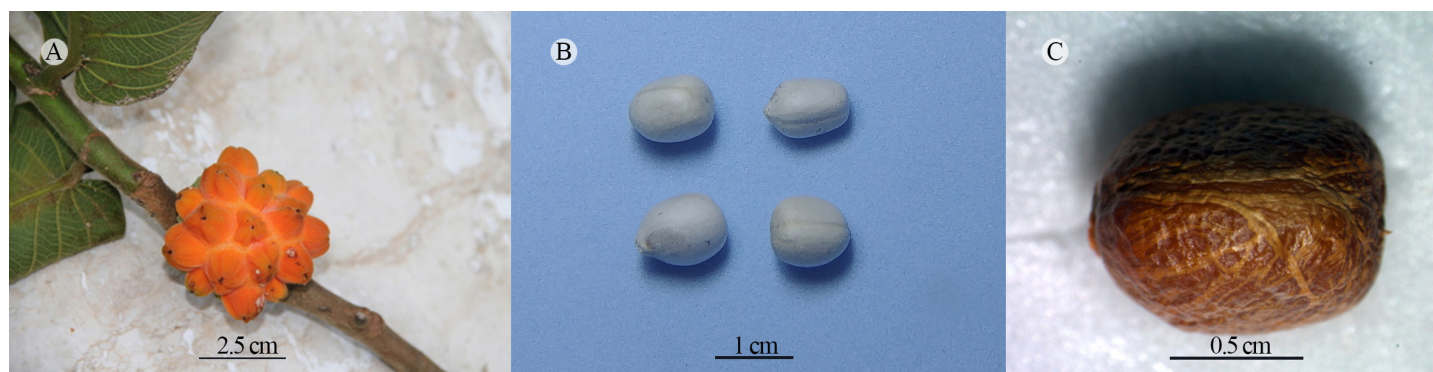


Figura 1: *Castilla elastica* Cerv. A. receptáculo con frutos; B. aquenios; C. semilla. Material colectado en Paraíso, Tabasco, México.

máximas y mínimas, la humedad relativa con un termohigrómetro (TFA Dostmann™, Wertheim, Alemania) y la PAR con un Quantómetro (Apogee MQ-100™, Logan, EUA).

Evaluación de la germinación y crecimiento

Se cuantificó el porcentaje de germinación (número de semillas germinadas/número de semillas sembradas × 100). La morfología de plántulas se determinó de acuerdo con el tipo de cotiledones (de reserva o foliáceos) y con la emergencia de los cotiledones criptocotilar o fanerocotilar (Ibarra-Manríquez et al., 2001; Pérez-Harguindeguy et al., 2013). Se describieron las diferentes fases de desarrollo de las plántulas, se cuantificó el número de hojas y la supervivencia.

Cuando las plántulas terminaron de formar sus eófilos (a los 70 días), fueron trasladadas a cielo abierto para la lignificación del tallo, práctica necesaria en condiciones de vivero (CONAFOR, 2005). Dicho espacio se ubicó en Comalcalco, Tabasco, México (18°14'12"N y 93°12'28"O (Google Earth, 2012), sitio donde se mantuvieron hasta el final del experimento.

Los datos climatológicos obtenidos para Comalcalco, Tabasco, fueron temperatura media (TM), suma de precipitaciones (PP), humedad relativa (HR), radiación solar (RS) e índice ultravioleta (IUV; Cuadro 1). La información ambiental fue proporcionada por el Centro Regional de Prevención, Atención de Emergencias y Capacitación en Protección Civil (CERAPAE), perteneciente al Gobierno del Estado, ubicado a 8.6 km del sitio de estudio.

El crecimiento se midió inicialmente con 216 plantas. Debido a la pérdida de 47 individuos (por causas no determinadas) en distintos momentos del crecimiento solo se hizo el seguimiento individual a 169 plantas a lo largo de 135 días (205 días después de la siembra). Las plantas se regaron cada tercer día o *ad libitum*.

La longitud de tallo (Lt) se midió con un flexómetro convencional (Truper®, Jilotepec, México; precisión=0.1 cm) y el diámetro en la base del tallo (Db) con un calibrador vernier convencional (Truper®, Jilotepec, México; precisión=0.1 mm). Las mediciones individuales se realizaron en cuatro periodos y cada 45 días (70, 115, 160, 205 días). Posteriormente, se calculó la tasa absoluta de crecimiento (TAC) y la tasa relativa de crecimiento (TRC) para longitud de tallo (TACLt y TRCLt) y diámetro de tallo (TACDb y TRCDB), mediante las ecuaciones 1 y 2.

Tasa absoluta de crecimiento TAC_{Lt} es expresada en $cm\ día^{-1}$ y TRC_{Db} es expresada en $mm\ día^{-1}$

Ecuación 1

$$TAC_{Lt} = \frac{(h_2) - (h_1)}{(t_2) - (t_1)} \quad \text{Y} \quad TAC_{Db} = \frac{(d_2) - (d_1)}{(t_2) - (t_1)}$$

Tasa relativa de crecimiento para longitud de tallo TRC_{Lt} , expresada como logaritmo natural del crecimiento $cm\ cm^{-1}\ día^{-1}$ para Lt y $mm\ mm^{-1}\ día^{-1}$ para Db

Ecuación 2

$$TRC_{Lt} = \frac{\ln(h_2) - \ln(h_1)}{(t_2) - (t_1)} \quad \text{Y} \quad TRC_{Db} = \frac{\ln(d_2) - \ln(d_1)}{(t_2) - (t_1)}$$

Para ambos casos h_2 es la longitud de tallo al final del período (t_2), h_1 es la longitud al inicio del período (t_1), d_2 es el diámetro de tallo al período (t_2), d_1 es el diámetro al período (t_1).

Análisis estadísticos

Se realizó un análisis de estadística descriptiva de los datos generados durante cada evaluación de crecimiento. Se realizaron pruebas de normalidad (sesgo y curtosis estandarizada) y de homocedasticidad (prueba de Levene) para determinar si los datos provienen de muestras normales y

Cuadro 1: Promedio (± 1 DE) de las variables climáticas registradas en 2018, durante el seguimiento de plántulas (70-205 días) de *Castilla elastica* Cerv., a cielo abierto en Comalcalco, Tabasco, México. Temperatura media (TM), Humedad relativa (HR), Suma de precipitaciones (PP), Radiación solar (RS) e Índice Ultravioleta (IUV). Fuente: CERAPAE (Centro Regional de Prevención, Atención de Emergencias y Capacitación en Protección Civil).

Periodos	TM (°C)	HR (%)	PP (mm)	RS (W/m ²)	IUV
01 ago-15 sep	27.7 \pm 0.8	83.0 \pm 2.6	172.0	227.7 \pm 33.7	1.4 \pm 0.2
16 sep-30 oct	27.4 \pm 0.9	85.2 \pm 2.9	339.8	185.3 \pm 35.9	1.3 \pm 0.2
31 oct-15 dic	25.1 \pm 2.5	86.9 \pm 3.9	374.2	136.3 \pm 52.0	0.9 \pm 0.2

homocedásticas. Las diferencias entre los cuatro muestreos de crecimiento se determinaron mediante un ANOVA de mediciones repetidas de una vía, pues los datos provienen de los mismos individuos medidos en cada muestreo. Se empleó un análisis de regresión lineal simple para determinar el modelo de crecimiento de la especie. La relación entre cada una de las variables ambientales y las tasas de crecimiento de las plantas ($n=24$). Dada la redundancia de la información aportada por las variables ambientales, solo fue posible estimar modelos lineales simples con cada variable. Todos los análisis estadísticos se realizaron en el paquete estadístico Statgraphics Centurion® v. 18 (Statgraphics Technologies, 2018) empleándose un valor de significancia de $\alpha=0.05$.

Resultados

Germinación y morfología de plántulas

Se obtuvo 100% de semillas germinadas, el proceso inició a los 12 días con la elevación de los epicótilos, observándose los primordios foliares de los paracotiledones (Fig. 2B). Su germinación se definió como fanerocotilar hipógea con cotiledones de reserva. A los 18 días se observó la emisión del primer eófilo (Fig. 2C). Los paracotiledones completaron su desarrollo a los 36 días (Fig. 2F), son opuestos, de consistencia ligeramente gruesa, y con nervaduras prominentes. La forma de su limbo es ovada, su ápice acuminado, la base ligeramente cordada, el margen aserrado y son altamente pubescentes. La longitud promedio (± 1 DE) de los paracoti-

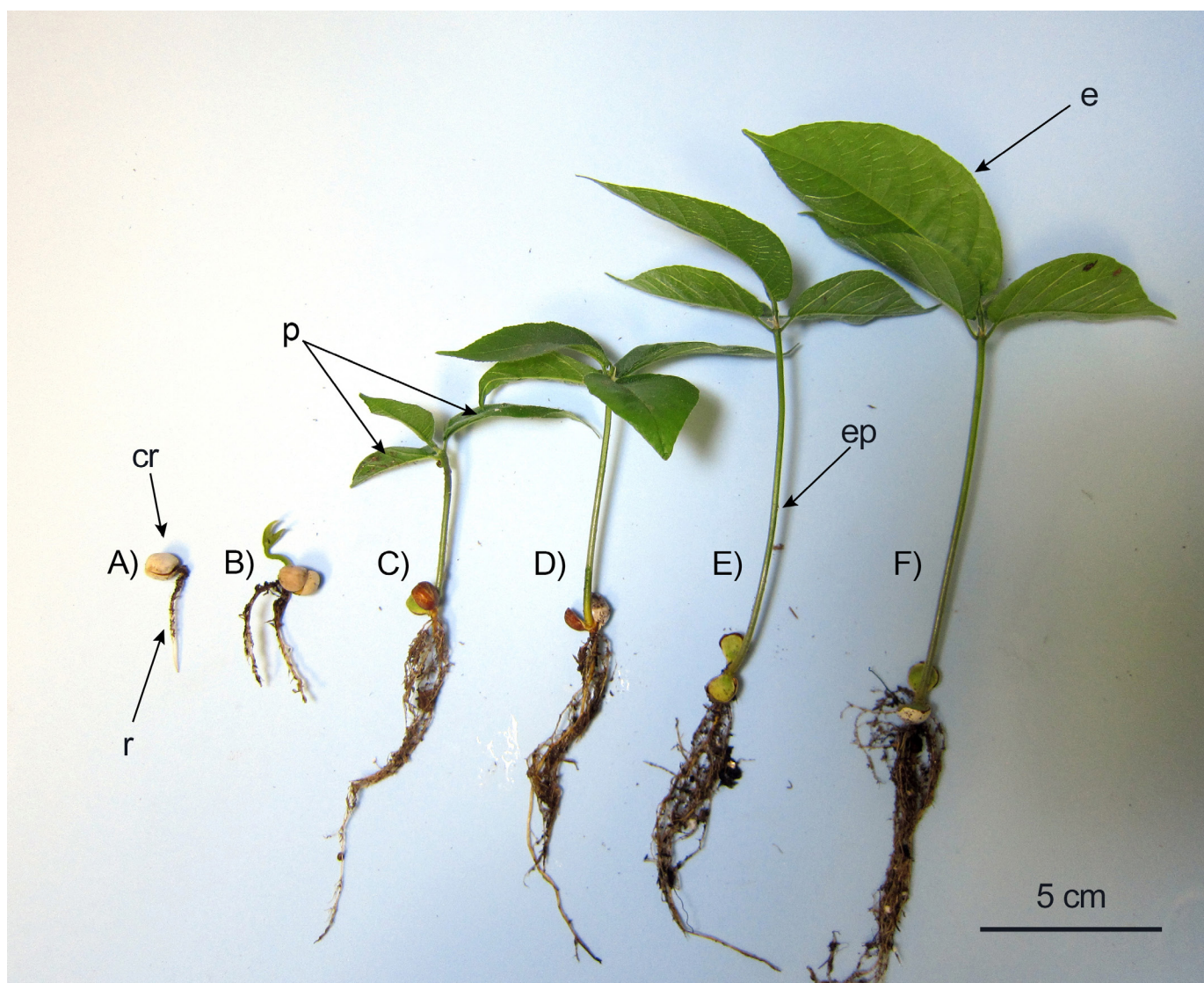


Figura 2: Diferentes etapas de desarrollo de la plántula de *Castilla elastica* Cerv. Días después de la siembra: A=6; B=12; C=18; D=24; E=30; F=36. Estructuras de la plántula: radícula=r, cotiledones de reserva=cr, paracotiledones=p, epicótilo=ep, eófilo=e.

ledones fue de 4.5 cm (± 0.3) de largo por 2.5 cm (± 0.3) de ancho en su parte más amplia.

Crecimiento

La supervivencia al final del estudio fue de 78.2%. Los primeros eófilos se emitieron a los 18 días, y se expandieron totalmente a los 70 días en todas las plantas. Estos primeros eófilos se caracterizaron por ser simples, ligeramente pubescentes, con limbo oblongo, la base cordada, el ápice largamente acuminado y con filotaxia alterna (Fig. 2). El número de hojas se mantuvo entre 3 y 6, pero en la última fase de evaluación, las plantas presentaron un proceso de senescencia y abscisión en sus hojas basales, conservando solo sus hojas apicales hasta los 205 días (Fig. 3). Los eófilos medidos en el último período de evaluación presentaron una longitud promedio (± 1 DE) de 16 cm (± 2.5) de largo por 9 cm (± 1.3) de ancho (Fig. 2).



Figura 3: Planta de *Castilla elastica* Cerv., 205 días después de la siembra. La imagen muestra sus eófilos.

Al inicio de la evaluación del crecimiento (día 70), el promedio de la Lt (± 1 DE) fue de 12.5 cm (± 1.3) y del Db de 2 cm (± 0.2). Los tres períodos de evaluación mostraron diferencias estadísticas altamente significativas para Lt y Db ($F_{2,171}=68.93$, $P<0.001$). A los 115 días las plantas tuvieron valores promedio de Lt de 19.02 cm (± 2.17) y Db de 4.09 mm (± 2.17). En el segundo periodo de evaluación (160 días), tuvieron una Lt promedio de 27.48 cm (± 3.77) y Db de 6.07 mm (± 0.44). Al término del estudio (205 días), contaron con una Lt promedio de 36.57 cm (± 5.27) y un Db promedio de 8.26 mm (± 0.55).

El valor promedio máximo para TAC_{Lt} fue de 0.2019 cm día⁻¹ y para TAC_{Db} fue de 0.488 mm día⁻¹. Las TRC tanto de Lt como de Db fueron descendentes, indicando una reducción en la velocidad de crecimiento. Para ambas tasas, se encontraron diferencias significativas entre el primero y los demás periodos evaluados ($F_{2,21}=3.94$, $P=0.03$ para TAC_{Lt} y $F_{2,21}=4.50$, $P=0.02$ para TAC_{Db}). Los valores máximos y mínimos registrados para TRC_{Lt} fueron de 0.0118 a 0.0063 cm cm⁻¹ día⁻¹, respectivamente y para TRC_{Db} de 0.0149 a 0.0069 mm mm⁻¹ día⁻¹ (Cuadro 2).

El análisis de regresión lineal simple entre los días después de la siembra y la Lt indica que existe una alta asociación entre las variables ($r=0.93$). Este modelo explica 87.7% de la variabilidad observada en los datos. El valor de la pendiente indica que *C. elastica* crece 0.188 cm día⁻¹, generándose el modelo $Lt=-2.271 + 0.188 \times \text{días}$ (Fig. 4). La asociación entre la Lt de las plantas y el Db también fue alta ($r=0.93$). El 86.6% de la variación de los datos está explicada por el modelo. El modelo $Lt=2.883+4.033 \times Db$ indica que por cada milímetro de Db se presenta un incremento de 4.03 cm de Lt (Fig. 5).

De acuerdo con el cálculo de regresión, la TAC_{Lt} estuvo medianamente asociada a las variables ambientales registradas en la estación climatológica. Los valores del coeficiente de correlación variaron entre -0.408 a 0.521 (Cuadro 3).

Discusión

Germinación y morfología de plántulas

El porcentaje de germinación y el número de días posteriores a la germinación obtenido en este trabajo fue mayor y más rápido al reportado por Sautu et al. (2006).

Cuadro 2: Tasa de crecimiento absoluta de la longitud total de tallo (TAC_{Lt}) y de diámetro de tallo (TAC_{Db}); tasa relativa de crecimiento de longitud de tallo (TRC_{Lt}) y de diámetro de tallo (TRC_{Db}) para *Castilla elastica* Cerv., a partir del día 70 (inicio) y evaluadas cada 45 días. Las letras desiguales indican diferencias estadísticamente significativas (ANOVA; $P < 0.001$ para altura y diámetro; $P < 0.05$ para TAC y TRC).

Días de evaluación	TAC_{Lt} (cm día ⁻¹)	TAC_{Db} (mm día ⁻¹)	TRC_{Lt} (cm cm ⁻¹ día ⁻¹)	TRC_{Db} (mm mm ⁻¹ día ⁻¹)
1-45	0.1738 a	0.445 a	0.0118 a	0.0149 a
46-90	0.1880 ab	0.438 ab	0.0082 b	0.0087 b
91-135	0.2019 b	0.488 b	0.0063 b	0.0069 b

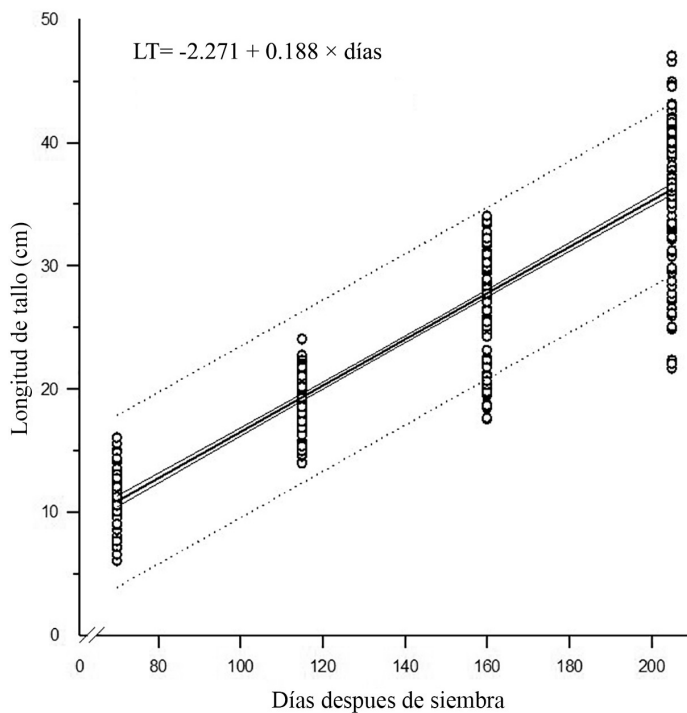


Figura 4: Análisis de regresión lineal simple entre la longitud de tallo (L_t) y los días de evaluación del crecimiento de las plantas de *Castilla elastica* Cerv. Las bandas internas alrededor de la línea de regresión representan los intervalos de confianza (de 95%) del modelo de regresión y las líneas punteadas externas corresponden a los límites de predicción para nuevas observaciones (nivel de confianza de 95%).

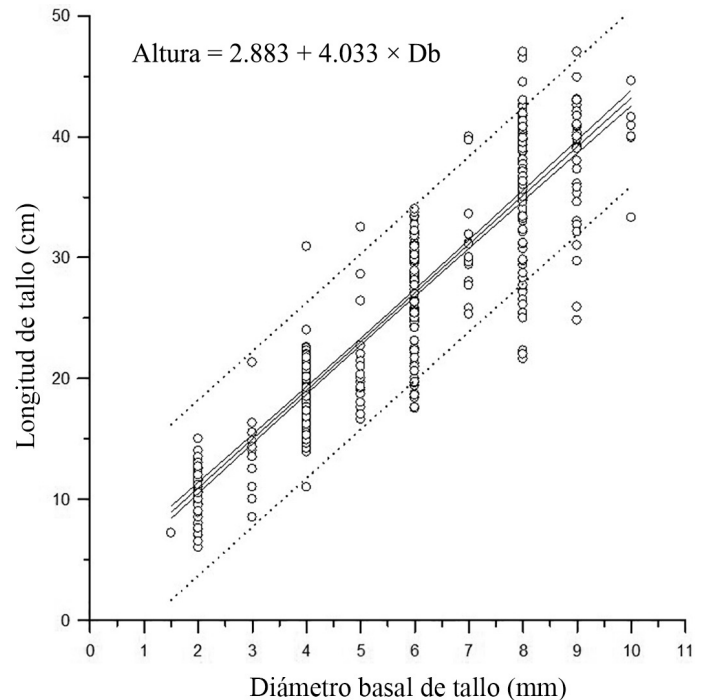


Figura 5: Análisis de regresión lineal simple entre la longitud del tallo (L_t) y el diámetro de tallo (Db) de las plantas de *Castilla elastica* Cerv., monitoreadas por 135 días. Las bandas internas alrededor de la línea de regresión representan los intervalos de confianza (de 95%) del modelo de regresión y las líneas punteadas externas corresponden a los límites de predicción para nuevas observaciones.

Cuadro 3: Coeficientes de correlación (r) y determinación (r^2) obtenidos entre la tasa absoluta de crecimiento (TAC_{Lt}) para la altura de las plantas de *Castilla elastica* Cerv. y las variables ambientales registradas en Comalcalco, Tabasco, México. P =valor de probabilidad para la correlación lineal simple.

Variable	r	r^2	P
Temperatura ambiental	-0.408	0.167	0.047
Humedad	0.516	0.266	0.009
Precipitación acumulada	0.521	0.271	0.009
Radiación solar	-0.501	0.251	0.012
Índice UV	-0.489	0.238	0.015

Ellos mencionan que las semillas de *C. elastica* lograron alcanzar 86% de germinación a los 38 días. Existe una coincidencia con los autores citados en lo referente a que la especie no necesita un tratamiento pregerminativo, siempre y cuando se utilicen semillas recién cosechadas. La germinación fanerocotilar hipógea con cotiledones de reserva, se caracteriza por la permanencia de los remanentes cotiledonares adheridos al cuello de la plántula y en la superficie inmediata superior del suelo (Pérez-Harguindeguy et al., 2013). Esta forma de germinación se ha encontrado en otras Moraceae como *Clarisia biflora* subsp. *mexicana* (Liebm.) W.C. Burger y *Sorocea duckei* W.C. Burger (Ibarra-Manríquez et al., 2001; Alencar et al., 2005); también, por ejemplo, en algunas especies tropicales de las familias Bignoniaceae, Ochnaceae, Sapotaceae (Ibarra-Manríquez et al., 2001) y en Fabaceae (Ibarra-Manríquez et al., 2001; Menezes et al., 2017).

Se observó que esta especie se caracteriza por emitir un par de cotiledones foliáceos denominados paracotiledones (De Voguel, 1980; Pérez-Harguindeguy et al., 2013). Estos órganos se definen como hojas funcionalmente fotosintéticas, aunque pueden desempeñarse como reservorios después de que los nutrientes cotiledonares se han consumido (Bose et al., 2017; Souza et al., 2018). Esta característica corresponde con *C. elastica*, ya que los paracotiledones son ligeramente gruesos.

Crecimiento

Castilla elastica presentó un crecimiento semejante al de varias especies de la familia Moraceae, en cuanto a longitud de tallo en un periodo similar de tiempo. Dentro de los estudios de crecimiento inicial de esta familia botánica resalta el de Cerdas y Gómez (2002), quienes germinaron *in vitro* *Ficus obtusifolia* Kunth, *F. jimenezii* Standl. y *F. morazaniana* W.C. Burger, utilizando arena como sustrato y obteniendo un crecimiento promedio a lo largo de seis meses de 17 a 32 cm de Lt. En árboles de *Brosimum alicastrum* Sw. (ramón), desarrollados en vivero se reportó que a los 12 meses del cultivo las plantas alcanzaron 65 cm de Lt (Hernández-González et al., 2015). En un trabajo más reciente con ramón obtuvieron una longitud de tallo promedio de 26 cm en 150 días de experimentación utilizando riego regular (Mendoza-Arroyo et al., 2020).

Si la tasa de Lt en *C. elastica* se conserva, las plantas podrían alcanzar una longitud a los tres años de 2.4 m en condiciones de luz (Cordero y Boshier, 2003). El decrecimiento en los últimos 45 días de evaluación podría estar relacionado con la pérdida de hojas; esto provocó posiblemente un desbalance en la relación entre la fuente-demanda, una pérdida de actividad fotosintética y posterior muerte del tejido (Amaro et al., 2004; Iqbal et al., 2012).

Las hojas “verdaderas” juveniles formadas en este estudio fueron definidas como eófilos (Kellermann, et al., 2016). Su tamaño fue menor al que se registra en la literatura en hojas adultas; es decir, 20 a 45 cm de largo por 10 a 20 cm de ancho, pero en general similares a la forma de limbo y filotaxia a las hojas adultas (Pennington y Sarukhán, 2005). Los eófilos fueron menos pubescentes y totalmente verdes a diferencia de las hojas adultas que en su envés, y por la alta presencia de tricomas, se observan amarillentas. Es común que esta característica sea más prominente en etapas adultas ya que la densidad de tricomas obedece a una respuesta al ambiente (Simioni et al., 2017).

En el período evaluado no se formaron metafílos como ocurre en algunas especies arbóreas, que aun siendo jóvenes sus hojas presentan características morfológicas y/o anatómicas similares al árbol adulto (Canaveze y Machado, 2016). La planta tampoco produjo ramas separadas entre sí como se describe en árboles maduros de *C. elastica* (Pennington y Sarukhán, 2005).

La senescencia y abscisión foliar es peculiar en la especie de estudio, ocurriendo principalmente antes de la floración (mayo para Tabasco), tanto en ramas florales como en las hojas basales, tal y como corresponde a un árbol monopódico (Pennington y Sarukhán, 2005). Las variables temperatura ambiental, radiación solar y el índice UV se relacionaron con el crecimiento de manera negativa, lo que indica que *C. elastica* disminuye su crecimiento al aumentar el valor de estas variables. La asociación entre el crecimiento con la humedad y la precipitación acumulada fue positiva. Siendo la radiación solar la variable ambiental que tuvo mayor efecto en el crecimiento de la planta y posiblemente en la muerte de algunos individuos (Cuadro 3). Existe una escasa cantidad de trabajos referidos a las características fisiológicas de *C. elastica*; sin embargo, con los resultados de crecimiento obtenidos y relacionados con

la radiación solar promedio registrada (183.2 W m^{-2}), indican que es una especie pionera (Winter y Lovelock, 1999). No obstante, en estudios ecológicos la consideran una especie sucesional intermedia o tardía (Benítez-Malvido y Lemus-Albor, 2005; Meli et al., 2015). Estudios fisiológicos posteriores son necesarios para confirmar tales aseveraciones, porque se ha demostrado que la aplicación de una alta radiación fotosintéticamente activa ($\text{PAR: } 2000 \mu\text{m}^{-1} \text{ s}^{-1}$) puede inhibir la eficiencia potencial del Fotosistema II y repercutir en el crecimiento preliminar de *C. elastica* (Barth et al., 2001). Por lo tanto, dados nuestros resultados, es factible que en ensayos futuros se considere comprobar la cantidad de luz ideal para un crecimiento óptimo, puesto que una sombra excesiva inhibe la lignificación del tallo, característica esencial para que las plantas puedan sobrevivir al trasplante (CONAFOR, 2005). Un estudio demostró que, en condiciones tropicales húmedas de Heredia, Costa Rica, su crecimiento mejoró en sombra, logrando árboles hasta de 4.3 m de altura y 25.2 dm^3 de volumen en tres años (Cordero y Boshier, 2003), aunque estos autores no mencionan el porcentaje exacto de sombra instalado. Otras especies arbóreas tropicales obtienen un mejor crecimiento en las primeras etapas de desarrollo como *Aspidosperma megalocarpon* Müll. Arg., *Ormosia macrocalyx* Ducke y *Lonchocarpus castilloi* Standl. bajo porcentajes de sombra entre 60 y 80% en condiciones de vivero (Pérez-Hernández et al., 2011).

En este estudio se cumplieron estándares de calidad para plantas tropicales de vivero útiles en la reforestación. Algunos de ellos son que el porcentaje de germinación debe ser mínimo de 80%, que la longitud del tallo debe ser superior a los 30 cm y su diámetro de tallo mayor a 5 mm, así como mantener un cepellón compacto, características que promoverán una mayor resistencia al ambiente (Del Amo et al., 2002; CONAFOR, 2005). Por lo tanto, esta especie se podría seguir utilizando en sistemas agroforestales como una estrategia para su conservación y en la reforestación o restauración productiva.

Conclusiones

La presente investigación permitió identificar que la germinación de semillas de *C. elastica* es muy alta (100%), utilizando semillas recién cosechadas. El desarrollo de la

plántula implicó una germinación fanerocotilar hipógea con cotiledones de reserva, con una posterior emisión de paracotiledones y por último la formación de hojas juveniles. Las tasas absolutas de Lt y Db fueron siempre ascendentes, aunque se observó que las tasas relativas disminuyen después de la primera evaluación debido a un incremento en la radiación solar, registrándose una correlación negativa significativa entre estas variables. Este trabajo demostró la factibilidad de producir plantas de *C. elastica* de calidad de acuerdo con las normas de la Comisión Nacional Forestal.

Contribución de autores

GVS concibió la investigación y realizó el seguimiento del estudio. JPCR obtuvo datos, elaboró el manuscrito y las figuras. GVS, JPCR y WMCS analizaron e interpretaron los resultados y revisaron el manuscrito. Todos los autores contribuyeron a la discusión y aprobación del documento final.

Financiamiento

Este trabajo fue apoyado por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, pues formó parte del proyecto interno (sin financiamiento) "Estado actual del árbol del hule (*Castilla elastica* Sessé) en el estado de Tabasco", Folio 287.

Agradecimientos

Se agradece a René Brondo Bulnes por habernos facilitado el germoplasma para ser utilizado en el experimento.

Literatura citada

- Aceves-Navarro, L. A. y B. Rivera-Hernández. 2019. Clima. In: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (ed.). La biodiversidad en Tabasco, Estudio de Estado, Vol I. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Cd. Mx., México. Pp. 61-68.
- Alencar, M. L., S. Maia y P. Parolin. 2005. Seedling morphology of non-pioneer trees in Central Amazonian várzea floodplain forests. *Ecotropica* 11(1-2): 1-8.
- Amaro, J. A. P., E. G. Moya, J. F. E. Quiroz, A. R. Q. Carrillo, J. P. Pérez y A. H. Garay. 2004. Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto "mulato" (*Brachiaria híbrido*, cv.). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 42(3): 447-458.



- Barth, C., G. H. Krause y K. Winter. 2001. Responses of photosystem I compared with photosystem II to high-light stress in tropical shade and sun leaves. *Plant, Cell and Environment* 24(2): 163-176. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2001.00673.x>
- Benítez, T., M. Equihua y M. T. Pulido-Salas. 2002. Diagnóstico de la situación de los viveros oficiales de Veracruz y su papel para apoyar programas de reforestación y restauración. *Revista Chapingo Serie ciencias Forestales y del Ambiente* 8(1): 5-12.
- Benítez-Malvido, J. y A. Lemus-Albor. 2005. The seedling community of tropical rain forest edges and its interaction with herbivores and pathogens. *Biotropica* 37(2): 301-313. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.00031.x>
- Bose, A., P. Das y N. D. Paria. 2017. Taxonomic treatment of some Indian *Magnolia* L. in respect to seedling morphology. *Feddes Repertorium* 128(1-2): 9-16. DOI: <https://doi.org/10.1002/fedr.201500008>
- Canaveze, Y. y S. R. Machado. 2016. The occurrence of intrusive growth associated with articulated laticifers in *Tabernaemontana catharinensis* A. DC., a new record for Apocynaceae. *International Journal of Plant Sciences* 177(5): 458-467. DOI: <https://doi.org/10.1086/685446>
- Carreón-Blaine, E. 2016. Del hule al chapopote en la plástica mexicana. Una revisión historiográfica. Instituto de Investigaciones Estéticas, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México. Pp. 13-15.
- Cerdas, L. V. y A. H. Gómez. 2002. Germinación y micropropagación de *Ficus obtusifolia*, *F. jimenezii* y *F. morazaniana* (Moraceae). *Uniciencia* 19(1): 77-82.
- CONAFOR. 2005. Manual práctico para producción de planta. Comisión Nacional Forestal. México, D.F., México. 197 pp.
- Cordero, J. y D. H. Boshier. 2003. Árboles de Centroamérica, un Manual para Extensionistas. Oxford Forestry Institute, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. pp. 443-446.
- Cruz-Lara, L. E., C. Lorenzo, L. Soto, E. Naranjo y N. Ramírez-Marcial. 2004. Diversidad de mamíferos en cafetales y selva mediana de las cañadas de la selva Lacandona, Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana* 20(1): 63-81.
- De Vogel, E. F. 1980. Seedlings of dicotyledons. Centre for Agricultural Publishing and Documentation. Wageningen, The Netherlands. 465 pp.
- Del Amo, R. S., T. M. C. Vergara, P. J. M. Ramos y C. C. Sainz. 2002. Germinación y manejo de especies forestales tropicales. Fondo Sectorial Comisión Nacional Forestal-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Veracruz, México. 187 pp.
- Duke, J. A. 1969. On tropical tree seedlings. I. Seeds, seedlings, systems and systematics. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 56: 125-161.
- Garwood, C. N. 1996. Functional morphology of tropical tree seedlings. In: Swaine, M. D. (ed.). *Tropical forest tree seedlings*. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO), The Parthenon Publishing Group. Paris, France. Pp. 59-128.
- González, E. 1991. Recolección y germinación de semillas de 26 especies arbóreas del bosque húmedo tropical. *Revista de Biología Tropical* 39(1): 47-51.
- González, E., M. Cobas, M. Bonilla, R. Sotolongo, I. Castillo, I. García y M. Medina. 2014. Experiencias en la producción de plantas cultivadas en los viveros forestales en contenedores. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 2: 1-13.
- Google Earth. 2012. Google Earth v. 6.2. <https://n9.cl/fwhgm> (consultado mayo de 2018).
- GU. 2020. Rescatan tradición ancestral del juego de pelota. *Gaceta Universitaria UNAM*. Cd. Mx. México. <https://www.gaceta.unam.mx/rescatan-tradicion-ancestral-del-juego-de-pelota/> (consultado septiembre de 2021)
- Hernández-González, O., S. Vergara-Yoisura y A. Larqué-Saavedra. 2015. Primeras etapas de crecimiento de *Brosimum alicastrum* Sw. en Yucatán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(27): 38-49.
- Ibarra-Manríquez, G., M. Martínez-Ramos y K. Oyama. 2001. Seedling functional types in a lowland rain forest in Mexico. *American Journal of Botany* 88(10): 1801-1812. DOI: <https://doi.org/10.2307/3558356>
- Iqbal, N., A. Masood y N. A. Khan. 2012. Analizando la importancia de la defoliación en el crecimiento, la compensación fotosintética y las relaciones fuente-sumidero. *Photosynthetica* 50(2): 161-170.
- Kellermann, B., C. Bona y L. A. de Souza. 2016. Morfoanatomía da plântula e comparação da folha nas fases juvenis e adulta de *Piptocarpha angustifolia* (Asteraceae). *Rodriguésia* 67(3): 627-638. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-7860201667307>

- Larqué-Saavedra, A. 2016. Biotecnología prehispánica en Mesoamérica. *Revista Fitotecnia Mexicana* 39(2): 107-115.
- Meli, P., M. Martínez-Ramos y J. M. Rey-Benayas. 2013. Selecting species for passive and active riparian restoration in Southern Mexico. *Restoration Ecology* 21(2): 163-165. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2012.00934.x>
- Meli, P., J. M. Rey Benayas, M. M. Ramos y J. Carabias. 2015. Effects of grass clearing and soil tilling on establishment of planted tree seedlings in tropical riparian pastures. *New Forests*, 46(4): 507-525. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9479-3>
- Mendoza-Arroyo, G. E., A. Morón-Ríos, M. González-Espinosa, J. A. Alayón-Gamboa y P. A. Macario-Mendoza. 2020. La supervivencia y desarrollo de plántulas de *Brosimum alicastrum* (Moraceae) y *Psidium sartorianum* (Myrtaceae) difieren en condiciones de inundación. *Acta Botanica Mexicana* 127: e1548. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm127.2020.1548>
- Menezes, T. G. C., M. J. N. Rodal, A. L. A. de Lima, L. R. Lima, M. A. D. S. C. Pinto y A. L. de Melo. 2017. Do seedling functional groups reflect ecological strategies of woody plant species in Caatinga? *Acta Botanica Brasílica* 32(1): 20-27. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-33062017abb0198>
- Montero, H. D. B. 2021. Distribución ecogeográfica de *Castilla elastica* Cerv. en México con énfasis en la zona Centro y Chontalpa de Tabasco. Tesis de licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, México. 63 pp.
- Moya-Roque, R. y C. Tenorio-Monge. 2013. Características de combustibilidad de diez especies de plantaciones de rápido crecimiento en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 10(24): 26-33. DOI: <https://doi.org/10.18845/rfmk.v10i24.1321>
- Pennington, T. y J. Sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica. México, D.F., México. Pp. 232-233.
- Pérez-Harguindeguy, N., S. Díaz, E. Garnier, S. Lavorel, H. Poorter, P. Jaureguiberry, M. S. Bret-Harte, W. K. Cornwell, J. M. Craine, D. E. Gurvich, C. Urcelay, E. J. Veneklaas, P. B. Reich, L. Poorter, I. J. Wright, P. Ray, L. Enrico, J. G. Pausas, A. C. de Vos, N. Buchmann, G. Funes, F. Quétier, J. G. Hodgson, K. Thompson, H. D. Morgan, H. ter Steege, M. G. A. van der Heijden, L. Sack, B. Blonder, P. Poschlod, M. V. Vaieretti, G. Conti, A. C. Staver, S. Aquino y J. H. C. Cornelissen. 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 61(3): 167-234. DOI: <https://doi.org/10.1071/BT12225>
- Pérez-Hernández, I., S. Ochoa-Gaona, G. Vargas-Simón, M. Mendoza-Carranza y A. González-Valdivia. 2011. Germinación y supervivencia de seis especies nativas en un bosque tropical de Tabasco, México. *Madera y Bosques* 17(1): 71-91. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2011.1711155>
- Pittier, H. 1910. A preliminary treatment of the genus *Castilla*. *Contributions from the United States National Herbarium* 13: 247-249.
- Polanía, B. S., Aldana, A. M., Bottin, M., Cruz, D. M., Castro-Lima, F., Stevenson, P. R. y A. Sánchez. 2020. Effect of seasonal rains and floods on seedling recruitment and compositional similarity in two lowland tropical forests. *Forests* 11(12): 1297. DOI: <https://doi.org/10.3390/f11121297>
- Ramos-Reyes, R., R. Sánchez-Hernández y L. M. Gama-Campillo. 2016. Analysis of land use changes in the municipality coastal Comalcalco, Tabasco, Mexico. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 3(8): 151-160.
- Sakai, S. 2001. Thrips pollination of androdioecious *Castilla elastica* (Moraceae) in a seasonal tropical forest. *American Journal of Botany* 88(9): 1527-1534. DOI: <https://doi.org/10.2307/3558396>
- Sánchez, O. A. 2020. Conocimiento biocultural del árbol del hule (*Castilla elastica* Cerv.) en la región de la Chontalpa, Tabasco. Tesis de licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, México. 25 pp.
- Sautu, A., J. M. Baskin, C. C. Baskin y R. Condit. 2006. Studies on the seed biology of 100 native species of trees in a seasonal moist tropical forest, Panama, Central America. *Forest Ecology and Management* 234(1-3): 245-263. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.07.006>
- SEMARNAT. 2014. Certificación de la operación de viveros forestales NMX-AA-170-SCFI-2014. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Comisión Nacional Forestal Secretaría de Economía, Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos. México, D.F., México.
- Simioni, P. F., P. V. Eisenlohr, M. J. G. Pessoa e I. V. da Silva. 2017. Elucidating adaptive strategies from leaf anatomy: Do Amazonian savannas present xeromorphic characteristics?



- Flora 226(1): 38-46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2016.11.004>
- Souza, M. T., M. T. Souza y M. Panobianco. 2018. Morphological characterization of fruit, seed and seedling, and seed germination test of *Campomanesia guazumifolia*. Journal of Seed Science 40(1): 75-81. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v40n1186143>
- Statgraphics Technologies. 2018. Statgraphics Centurion® v. 18. Inc. Las Llanuras, Virginia. <https://www.statgraphics.com/> (consultado noviembre de 2020)
- Stone, A. 2002. The iconography of rubber balls in Mesoamerican art. Ancient Mesoamerica 13(1): 1-39.
- Vaylón, L. 2012. Uso y distribución de *Castilla elastica* (hule) en Zozocolco de Guerrero, Veracruz. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México. 89 pp.
- Winter, K. y C. E. Lovelock. 1999. Growth responses of seedlings of early and late successional tropical forest trees to elevated atmospheric CO₂. Flora 194(2): 221-227. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0367-2530\(17\)30900-3](https://doi.org/10.1016/S0367-2530(17)30900-3)

