

# Crecimiento de plántulas de árboles promisorias para la remediación de áreas contaminadas con petróleo

## Seedling Growth of Promising Tree Species for the Remediation of Petroleum-Contaminated Areas

José G. Chan-Quijano<sup>a\*</sup>, Anahí del Carmen Meza García<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad, A.C. Calle Centenario del Instituto Juárez S/N Col. Reforma, C.P. 86080, Villahermosa, Tabasco, México. <https://orcid.org/0000-0002-4943-1202>

<sup>b</sup> Departamento de petrolera, energía y ciencias básicas, Universidad Autónoma de Guadalajara, Campus Tabasco. Prol. Paseo Usumacinta km 3.5, Fracc. El Country, C.P. 86039, Villahermosa, Tabasco, México

\* autor por correspondencia

## RESUMEN

La germinación de semillas de especies arbóreas que crecen en suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo es necesario para conocer el desarrollo vegetativo como parte de las estrategias de remediación. Por lo tanto, se evaluó el crecimiento de plántulas de diez especies arbóreas (*Bursera simaruba*, *Byrsonima crassifolia*, *Cedrela odorata*, *Eugenia capuli*, *Guazuma ulmifolia*, *Inga inicuil*, *Pachira aquatica*, *Psidium guajava*, *Swietenia macrophylla*, *Tabebuia rosea*) promisorias para la remediación de suelos contaminados en condiciones de vivero con cuatro tratamientos pregerminativos. Para ello, se realizó un experimento con 1,560 semillas en un vivero con sombra del 60 %, se utilizó camas y bolsas negras para la evaluación del crecimiento de las especies. Los tratamientos pregerminativos aplicados fueron control, escarificación mecánica, remojo en agua durante 24 h, inmersión en agua hirviendo, remojo en ácido sulfúrico. La evaluación fue de 114 días. Los tratamientos favorecieron el crecimiento de las plántulas, siendo los mejores para alturas rápidas el remojo en ácido sulfúrico para *B. simaruba*, *G. ulmifolia* y *S. macrophylla*. Para *C. odorata* e *I. inicuil* con el control presentaron mayor crecimiento, para el *E. capuli*, *P. guajava* y *T. rosea*, la escarificación mecánica fue el mejor. Ahora bien, el mejor tratamiento para *P. aquatica* fue el remojo en agua durante 24 h y para *B. crassifolia* fue la inmersión en agua hirviendo. Los tratamientos pregerminativos, ayudaron a adquirir un crecimiento favorable y un diámetro basal adecuado e idóneo para las especies, con ello, se puede lograr estrategias de remediación y reforestación de las zonas afectadas.

**Palabras clave:** morfología, altura, diámetro del tallo, suelo contaminado, tratamientos.

## ABSTRACT

The germination of seeds of tree species that grow in soils contaminated with petroleum hydrocarbons is necessary to know the vegetative development as part of the remediation strategies. Therefore, the growth of seedlings of ten tree species (*Bursera simaruba*, *Byrsonima crassifolia*, *Cedrela odorata*, *Eugenia capuli*, *Guazuma ulmifolia*, *Inga inicuil*, *Pachira aquatica*, *Psidium guajava*, *Swietenia macrophylla*, *Tabebuia rosea*) promising for the remediation of contaminated soils under nursery conditions with four pregerminative treatments. For this, an experiment was carried out with 1,560 seeds in a nursery with 60 % shade, beds and

black bags were used to evaluate the growth of the species. The pregerminative treatments applied were control, mechanical scarification, soaking in water for 24 h, immersion in boiling water, soaking in sulfuric acid. The evaluation was 114 days. Treatments favored seedling growth, the best for rapid heights being soaking in sulfuric acid for *B. simaruba*, *G. ulmifolia* and *S. macrophylla*. For *C. odorata* and *I. inicuil* with the control they presented higher growth, for *E. capuli*, *P. guajava* and *T. rosea*, mechanical scarification was the best. However, the best treatment for *P. aquatica* was soaking in water for 24 h and for *B. crassifolia* it was immersion in boiling water. The pregerminative treatments helped to acquire a favorable growth and an adequate and ideal basal diameter for the species, with this, remediation and reforestation strategies can be achieved in the affected areas.

**Keywords:** morphology, height, stem diameter, contaminated soil, treatments.

## 1. Introducción

En la naturaleza, las plantas para propagarse necesitan que sus semillas lleguen en buen estado al suelo y que allí encuentren buenas condiciones para germinar y establecerse; este período es el más delicado en la vida de la planta. Es por ello, por lo que las plantas tienen como estrategia producir gran cantidad de semilla, para asegurar que al menos algunas puedan germinar y crecer para formar una planta adulta (Reed et al., 2022).

A pesar de que los procesos de germinación y establecimiento de las plántulas son de primera importancia para la regeneración de la vegetación natural, los estudios acerca de los requerimientos eco-fisiológicos de las semillas de especies arbóreas tropicales nativas, están en su etapa inicial de desarrollo, tanto en sus aspectos teóricos como experimentales, por ello, la producción de plántulas para realizar acciones de reforestación es una actividad que ha ganado importancia en los últimos años en Tabasco (Ochoa-Gaona et al., 2008<sup>a</sup>, p.98; Valle-Doménech y Ochoa-Gaona, 2008b, p.137).

Pennington y Sarukhán (2005, p.511) y Chan-Quijano et al. (2021) mencionan que en México ha ido en aumento el interés por utilizar especies arbóreas nativas para proyectos de remediación, restauración, reforestación y rescate de zonas degradadas o contaminadas. En general, estos programas incluyen la germinación en viveros, ya que después de la germinación de la semilla, la plántula sigue creciendo (Mundarain et al., 2005). Sin embargo, Valle-Doménech y Ochoa-Gaona (2008) destacan que dicha actividad sigue centrándose en pocas especies nativas, desafortunadamente existe poca información sobre el manejo de las semillas y tratamientos pregerminativos de muchas de las especies forestales nativas de la región.

Más en el caso de las áreas contaminadas con hidrocarburos del petróleo, ya que, esta sustancia afecta los parámetros físicos, químicos y biológicos del ecosistema. Sin embargo, existen especies vegetales que tiene la capacidad de tolerar este tipo de ambientes contaminados (Chan-Quijano et al., 2021). Estas plantas al estar creciendo y desarrollándose en este tipo de zonas contaminadas buscan estrategias fisiológicas y morfológicas para su supervivencia (Castro-Mancilla et al., 2019).

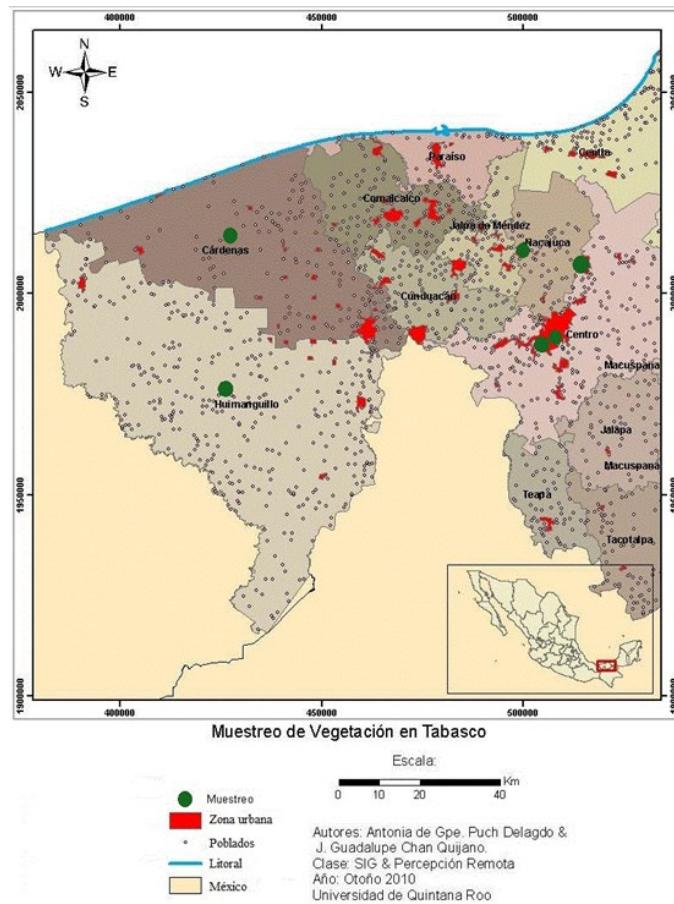
No obstante, es necesario estudiar los inicios de las estrategias y capacidades que tiene las plantas para crecer y desarrollarse en los suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo y, para ello, es necesario las investigaciones en vivero y, posteriormente, realizar las investigaciones en campo para tener y generar los conocimientos necesarios para los procesos de remediación de los suelos afectados (Pérez-Hernández et al., 2017). Entendiendo que cada grupo de suelos y ecosistema es distinto.

En Tabasco, por ejemplo, existen cerca de 1,731 km<sup>2</sup> de áreas contaminadas con concentraciones que van 1,550 mg kg<sup>-1</sup> hasta los 450,000 mg kg<sup>-1</sup> de hidrocarburos del petróleo (Ferrera-Cerrato et al., 2006; Chan-Quijano, 2015, p.100). Los hidrocarburos de acuerdo con Caballinas et al. (2013) son compuestos orgánicos formados por cadenas de carbono e hidrógeno, en su mayoría, originados

en el subsuelo terrestre por transformación química de la materia orgánica. Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue evaluar las tasas de crecimiento de plántulas de diez especies arbóreas promisorias para la remediación de suelos contaminados en condiciones de vivero con cuatro tratamientos pregerminativos.

## 2. Material y método

De acuerdo con el estudio prospectivo de Ochoa-Gaona *et al.* (2011, p.145) de especies arbóreas promisorias para la fitoremedición de suelos contaminados con hidrocarburos del petróleo, se seleccionaron las especies arbóreas para este estudio. En este sentido, se colectaron semillas de *Bursera simaruba* (L.) Sarg. (1890; palo mulato), *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth (1822; nance), *Cedrela odorata* L. (1759; cedro), *Eugenia capuli* (Schltdl. & Cham.) Hook. & Arn. (escobillo), *Guazuma ulmifolia* Lam. (1789; guácimo), *Inga inicuil* Schltdl. & Cham. ex G. Don (jinicuil), *Pachira aquatica* Aubl. (1775; zapote de agua), *Psidium guajava* L. (1753; guayaba), *Swietenia macrophylla* King (1886; caoba) y *Tabebuia rosea* (Bertol.) Bertero ex A.DC. (macuilis) en remanentes de selvas tropicales de Tabasco, así como en parcelas que tuvieran o no algún grado de contaminación (Figura 1); solo la guayaba y el nance (frutos) se compraron en mercados de la localidad por no estar fructificando en campo, pero se conoce que son especies que toleran a los hidrocarburos del petróleo.



**Figura 1.** Colecta de semillas (puntos verdes) en la porción oeste del estado de Tabasco. Cárdenas y Huimanguillo, son los municipios con más áreas contaminadas por derrames de petróleo, seguido de Nacajuca y Centro.

Los árboles padres seleccionados presentaron características fuertes, vigorosos, con un fuste recto, sin bifurcaciones ni torceduras, buenos productores de frutos, que no presentaran plagas y se

encontraban en madurez fisiológica (Arriaga et al., 1994, p.79; Tomalá-Rossi, 2002, p.21). Además, se seleccionaron estas especies vegetales por su capacidad remediadora y por ser tolerantes a la contaminación por hidrocarburos del petróleo. Una vez colectado los frutos, se siguió las recomendaciones de Chan-Quijano (2011), es decir, los frutos se dejaron secar bajo sombra a temperatura ambiente para se abrieran de manera natural y, con ello, se logró sacar las semillas, las que posteriormente se seleccionaron y limpiaron, para almacenarlas.

Para asegurar el contenido de la humedad de la semilla y la temperatura del sitio de almacenamiento, se usó un refrigerador convencional al que se mantuvo a 8°C. Para *Byrsonima crassifolia* las semillas, se despulparon y se conservaron a temperatura ambiente como tratamiento previo (sin refrigeración). A las semillas de las 10 especies leñosas seleccionadas, se les aplicó las pruebas de germinación en un vivero experimental que tiene una maya sombra al 60 % establecido en las instalaciones de El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa, Tabasco. Se mantuvo un riego cada tercer día para mantener las condiciones de humedad entre el 50 % y el 80 % para que las semillas germinen y crezcan sin limitaciones ambientales (Chan-Quijano et al., 2012).

La germinación se realizó en tres camas de crecimiento (camellones) de 4 x 1 m cada una, utilizando como base grava sobre plástico negro para evitar que crezcan malezas y retener la humedad, una capa de arena de 10 cm, para evitar la humedad excesiva; por arriba un sustrato compuesto de suelo con cascarilla de cacao en proporción 1:1. Las semillas mayores a 1 cm se sembraron en camas para su fácil manipulación (Chan-Quijano, 2011, p.106; Chan-Quijano et al., 2012). Estas mismas semillas tuvieron una distancia de 20 x 20 cm entre filas y columnas, en las camas; en cada punto se sembraron tres semillas.

Es preciso mencionar que el sustrato utilizado en el vivero no contenía ninguna concentración de contaminante, ya que lo que se busca es apoyar a las semillas para su rápido crecimiento derivado que son especies vegetales que toleran a los hidrocarburos. Por otra parte, las semillas se marcaron con un popote de plástico conforme fueron germinando, en los cuales se marcó el número de semillas germinadas en ese momento; para conocer los porcentajes de germinación se puede consultar a Chan-Quijano et al. (2012).

Las semillas menores a 3 mm se sembraron en bolsa negras de polietileno para vivero con medidas de 20 cm de largo x 10 cm de diámetro; esto con el objetivo de evitar la pérdida de las semillas. Si las sembramos directamente en las camas podrían quedar muy enterradas o juntas, lo que impediría su buen crecimiento y su seguimiento (Chan-Quijano, 2011; Ramírez-Marcial et al., 2012, p.87).

A las semillas de cada especie se les aplicaron cuatro tratamientos pregerminativos en función de las características de la cubierta seminal, paralelamente se mantuvo un lote control al que no se le aplicó tratamiento. Para cada tratamiento se utilizaron 30 semillas de cada especie, que representó 150 semillas por tratamiento, evaluando un total de 1,500 semillas, más 60 semillas más (1,560), esto de acuerdo con el cálculo de la cantidad de semillas necesarias, considerando una cantidad extra de semillas por si alguna no tenía viabilidad (Meza-Sánchez et al., 2009 p.28; Ramírez-Marcial et al., 2012):

$$\text{Cantidad} = 125 \frac{N}{pW} \left(1 + \frac{E}{100}\right) \quad (1)$$

Donde: N = número de plántulas requeridas que se desea obtener; p = porcentaje de germinación de las semillas (este valor se aplica cuando existe un conocimiento previo de la germinación de las semillas; en caso de no conocer el dato se aplica el 80 %; p = 0.8); W = número de semillas por kilogramo; 125 = factor de corrección que agrega un 25 % de semillas adicionales; E = cantidad extra entre 10-30 % (E = 10-30). Por otro lado, los tratamientos que se manejaron fueron: a) escarificación

mecánica (T1), b) remojo en agua durante 24 hrs (T2), c) inmersión en agua hirviendo (T3), d) remojo en ácido sulfúrico (T4) y c) sin tratamiento o control (TC; Tabla 1). La evaluación tuvo una duración de 114 días en total.

**Tabla 1.** Tratamientos pregerminativos que se aplicaron a las semillas de las especies seleccionadas y tiempos de conservación.

Especie	Tratamiento*	Días de conservación	Número total de semillas
<i>Bursera simaruba</i>	BsT1. EQAS3MLS	60 días	180 semillas <sup>+</sup>
	BsT2. EQAS3MR24		
	BsT3. RAH30S		
	BsT4. RAH30SR24		
<i>Byrsonima crassifolia</i>	BsT5. R24		
	BcT1. EM		
	BcT2. EQAS2MLS		
	BcT3. EQAS3MLS		
<i>Cedrela odorata</i>	BcT4. EQAS3MR24	8 días	150 semillas
	CoT1. R6		
	CoT2. R12		
	CoT3. R24		
<i>Eugenia capuli</i>	CoT4. R34		
	EcT1. EMR24		
	EcT2. EQAS3MLS		
	EcT3. EQAS3MR24		
<i>Guazuma ulmifolia</i>	EcT4. RAH30S	60 días	180 semillas <sup>+</sup>
	EcT5. RAH30SR24		
	GuT1. EQAS2MLS		
	GuT2. R30ACR24LS		
<i>Inga inicuil</i>	GuT3. RAH10R24LS	60 días	150 semillas
	GuT4. RAC10R24LS		
	IiT1. R6		
	IiT2. R12		
<i>Pachira aquatica</i>	IiT3. R24	5 días	150 semillas
	IiT4. R34		
	PaT1. R12		
	PaT2. R24		
<i>Psidium guajava</i>	PaT3. R48	15 días	150 semillas
	PaT4. R72		
	PgT1. R34		
	PgT2. RAH30S		
<i>Swietenia macrophylla</i>	PgT3. RAC5MLS	15 días	150 semillas
	PgT4. RAH10R24LS		
	SmT1. EM		
	SmT2. R24		
<i>Tabebuia rosea</i>	SmT3. EMR24	60 días	150 semillas
	SmT4. R48		
	TrT1. R6		
	TrT2. R12		
	TrT3. R24	30 días	150 semillas
	TrT4. R34		

\* **EM:** escarificación mecánica, **EMR24:** escarificación mecánica más remojo en agua durante 24 h, **R6:** remojo en agua durante 6 h, **R12:** remojo en agua durante 12 h, **R24:** remojo en agua durante 24 h, **R34:** remojo en agua durante 34 h, **R48:** remojo en agua durante 48 h, **R72:** remojo en agua durante 72 h, **EQAS2MLS:** escarificación química con ácido sulfúrico al 98 % por 2 minutos y lavado de semilla, **EQAS3MLS:** escarificación química con ácido sulfúrico al 98 % por 3 minutos y lavado de semilla, **EQAS3MR24:** escarificación química con ácido sulfúrico al 98 % por 3 minutos más remojo durante 24 h, **R30ACR24LS:** remojo por 30 segundos en agua caliente más remojo en agua a T° ambiente por 24 h y lavado de semilla, **RAH10R24LS:** remojo con agua hirviendo por 10 minutos más remojo en agua a T° ambiente por 24 h y lavado de la semilla, **RAC10R24LS:** remojo con agua caliente durante 10 minutos más remojo en agua a T° ambiente por 24 h y lavado de semilla, **RAH30S:** remojo en agua hirviendo por 30 segundos, **RAH30SR24:** remojo en agua hirviendo por 30 segundos más remojo en agua a T° ambiente durante 24 h, **RAC5MLS:** remojo con agua caliente por 5 minutos y lavado de semilla.

<sup>†</sup>Estas dos especies presentaron 30 semillas más por la falta de viabilidad de algunas semillas de acuerdo con la fórmula aplicada para el cálculo de las semillas.

## 2.1 Análisis estadísticos

A los datos obtenidos de crecimiento (altura), se aplicó la prueba estadística de Kruskal-Wallis (Blanco, 2000; Rodríguez-Rivas et al., 2009). Esta prueba ayudó a determinar si existen diferencias significativas dentro de la fuente de variación, ya que los datos fueron no paramétricos

## 3. Resultados

Cedrela odorata, Inga inicuil, Tabebuia rosea y Byrsonima crassifolia no presentan diferencias significativas, en cuanto a la altura en función de los tratamientos aplicados. En cambio, Bursera simaruba, Swietenia macrophylla, Guazuma ulmifolia, Eugenia capuli, Pachira aquatica y Psidium guajava si mostraron diferencias significativas en la altura en función de los tratamientos aplicados (estas especies mantuvieron un crecimiento dinámico; Tabla 2).

**Tabla 2.** Prueba de Kruskal-Wallis de la tasa de crecimiento entre los distintos tratamientos, por especie (P ≤0.05 es estadísticamente significativa).

Especie	Estadístico de prueba (H)	P
Bursera simaruba	111.83	0.0000
Byrsonima crassifolia	6.99	0.1360
Cedrela odorata	4.67	0.3224
Eugenia capuli	77.76	0.0000
Guazuma ulmifolia	84.03	0.0000
Inga inicuil	1.44	0.8368
Pachira aquatica	49.57	0.0000
Psidium guajava	75.48	0.0000
Swietenia macrophylla	12.76	0.0125
Tabebuia rosea	8.10	0.0879

Durante los 114 días de evaluación, Bursera simaruba alcanzó solo 12 cm (BsT2) y 8.3 cm (BsT5) de altura en las plántulas, ya que el resto de las semillas no germinaron, el control (BsC) al principio de su germinación alcanzó 3.5 cm de altura, pero al igual que el guácimo por cuestiones naturales murió. Las plántulas de Byrsonima crassifolia alcanzaron una altura por tratamiento de 7.6 cm (BcT2) y 6.7 cm (BcT3). Estas plántulas tienen una ligera altura a comparación de los otros tratamientos. El crecimiento de Cedrela odorata en este trabajo, muestran una altura de crecimientos

medios al inicio de su germinación, 9.7 cm en promedio.

*Eugenia capuli* presentó las menores tasas de crecimiento con 6 cm de altura (EcT1), ya que el resto de las semillas no germinaron con respecto al resto de las otras especies. *Guazuma ulmifolia* mostró una tasa de crecimiento de 18.5 cm (GuT3) y 23.4 cm (GuT4) las altas, el control (GuC) y el GuT1 después de la siembra si germinaron, pero por cuestiones naturales las plántulas murieron. *Inga inicuil* obtuvo altura promedio de 10.45 cm, alcanzando una altura final máxima de 22 cm (IiT1).

*Pachira aquatica* mostró un crecimiento muy rápido dando como resultado alturas máximas de hasta 95 cm (PaT2). El crecimiento de *Psidium guajava* alcanzó una altura de 8.6 cm (PgT1) y de 7.5 cm (PgT2) como crecimiento promedio. *Swietenia macrophylla* alcanzó alturas promedio mayores de 20 cm, después de germinar su crecimiento comenzó rápido mostrando alturas de hasta 29.3 cm (SmT3). Al igual que el cedro el *Tabebuia rosea* obtuvo crecimientos medios de 8.00 cm, alcanzando 15.4 cm (TrT3) como la altura máxima (Tabla 3, referencia de los tratamientos).

**Tabla 3.** Crecimiento (altura) de las diez especies arbóreas, con los diferentes tratamientos aplicados.

Especie	Crecimiento promedio (altura) por especie (cm)					
	C	T1	T2	T3	T4	T5
<i>Bursera simaruba</i>	3.5	0	12	0	0	8.3
<i>Byrsonima crassifolia</i>	5.8	2.4	7.6	6.7	5.7	----
<i>Cedrela odorata</i>	15.6	14.2	13	13.7	13.3	----
<i>Eugenia capulí</i>	0	6	0	0	0	0
<i>Guazuma ulmifolia</i>	1.6	2.5	14	18.5	23.4	----
<i>Inga inicuil</i>	20	22	18.3	17.5	21	----
<i>Pachira aquatica</i>	85	31	95	87.5	76	----
<i>Psidium guajava</i>	5.3	8.6	7.5	0	0	----
<i>Swietenia macrophylla</i>	24.5	23	24.5	29.3	28	----
<i>Tabebuia rosea</i>	12.5	14.3	14.3	15.4	11.5	----

#### 4. Discusión

Rincón et al. (2007) y Ochoa-Gaona et al. (2008a) mencionan que el crecimiento de las plántulas es el resultado del genotipo y del ambiente que las rodea; en el vivero la humedad y la sombra se mantienen relativamente constantes si se compara con la variabilidad del ambiente; sin embargo, la influencia de los cambios ambientales y cualquier variable producirán efectos sobre el crecimiento. El análisis de crecimiento en las plántulas de las especies arbóreas es una herramienta ampliamente usada en áreas tan diferentes como en el fitomejoramiento, la fisiología y en la ecología de las plantas. De acuerdo con el crecimiento de plántulas de *C. odorata*, *I. inicuil*, *P. aquatica*, *S. macrophylla* y *T. rosea* son especies de crecimiento rápido (Tabla 4, referencia de las especies en su crecimiento).

**Tabla 4.** Especies de mayor crecimiento después de su germinación con referencia al hipocótilo y diámetro del tallo.

Especie	Hipocótilo	Diámetro del tallo	Días de germinación
<i>Cedrela odorata</i>	9 cm	0.2 mm	52
<i>Inga inicuil</i>	3.5 cm	0.4 mm	32
<i>Pachira aquatica</i>	2.5 cm	1 cm	58
<i>Swietenia macrophylla</i>	2.3 cm	0.4 mm	74
<i>Tabebuia rosea</i>	7 cm	0.2 mm	44

Davidson et al. (1998) considera que el ritmo de crecimiento, pueden considerarse análogos (que tiene la misma función, pero con un origen diferente) y que el diámetro del tallo es una variable utilizada en viveros para definir el momento en que las plantas están aptas para trasplantarse pues es un factor para considerar en los procesos de reforestación, restauración y manejo de especies

forestales.

De esta manera, Márquez-Ramírez et al. (2005) en su evaluación de crecimiento inicial de plántulas de *C. odorata* obtuvo como resultados 20 cm de altura con un diámetro de 0.92 a 3.08 mm, mientras que Negreros-Castillo et al. (2010), encuentran mayor efecto en la etapa de crecimiento de las plántulas en el vivero depende de la calidad del sustrato y de los tratamientos aplicados. Ya que con el efecto de estos se manifiesta el crecimiento en altura y el área de la base de la plántula, es así como *S. macrophylla* alcanzó una altura de 25-40 cm con un diámetro de la base de 0.44-0.33 mm.

*C. odorata* obtuvo 15-43 cm de altura y con un diámetro de 0.14-0.55 mm y *T. rosea* mostró una altura de 15-28 cm con un diámetro de base de 0.12-0.36 mm, pero el crecimiento en altura y diámetro base están afectadas por el acervo genético específico de cada especie, que permite clasificarlas como de lento o rápido crecimiento. Vargas-simón et al. (2009) en su trabajo con el *I. inicuil* encontró mayor crecimiento de longitud del tallo fue de 30 cm obteniendo plántulas con radículas mayores a 2 cm. Estas semillas son apropiadas para obtener plántulas mejor desarrolladas en el menor tiempo, cuando alcanzan una longitud de tallo aproximado a los 30 cm.

Por otro lado, Sánchez-Sánchez y Hernández-Zepeda (2004) muestran en su estudio que *P. aquatica* alcanzó 1.5-2 mm de diámetro del tallo y el hipocótilo obtuvo 1-2 cm. Por lo menos, en esta investigación, estas cinco especies son las que presentaron un crecimiento rápido. Por lo tanto, las especies que presentaron crecimiento lento fueron *B. simaruba*, *B. crassifolia*, *E. capuli*, *G. ulmifolia* y *P. guajava* (Tabla 5, referencia de las especies).

**Tabla 5.** Especies de lento crecimiento después de su germinación con referencia al hipocótilo y diámetro del tallo.

Especie	Hipocótilo	Diámetro del tallo	Días de germinación
<i>Bursera simaruba</i>	5.5 cm	0.2 mm	54
<i>Byrsonima crassifolia</i>	5.5 cm	0.1 mm	50
<i>Eugenia capulí</i>	1.2 cm	0.1 mm	50
<i>Guazuma ulmifolia</i>	8 cm	2.2 mm	64
<i>Psidium guajava</i>	3.5 cm	0.1 mm	50

De acuerdo con Francis (1990, p.5) las plántulas de *B. simaruba* por lo general crecen a una tasa moderada con diámetros a la altura del pecho iniciales de 4 a 15 cm y con un diámetro de 0.28 mm. En este sentido, las semillas de esta especie tal vez estaban inmaduras o los tratamientos aplicados no la favorecieron. *B. crassifolia* después de 50 días muestra que es una especie de crecimiento lento pues hasta estos días solo alcanzó una altura de 7.6 cm como máxima. Según Ochoa-Gaona et al. (2008b) frecuentemente se encuentra creciendo en terrenos pedregosos y arenosos con alturas medias de 20 cm en un mes, con un diámetro de 0.3 mm sin tratamientos, en su forma biológica alcanza hasta 10 m de alto y 20 cm de diámetro en su etapa adulta.

Rebollar-Domínguez y Tapia-Torres (2010) mencionan que *E. capuli* es su etapa adulta es un árbol de 6 a 12 m de altura con el tallo de 20 cm de diámetro, en este caso el hipocótilo obtuvo 1.2 cm y de diámetro 0.1 mm, esto debido a que solo EcT1 germinó. *G. ulmifolia* es un árbol el cual se conoce poco sobre su etapa de desarrollo de crecimiento, al respecto, Manríquez-Mendoza (2010, p.88) obtuvo resultados de crecimiento máximas de 35.3, 22.8, 17.6 y 19.2 cm con diámetros de 1.0, 0.8, 0.6 y 0.6 mm respectivamente con 13 y 15 semanas de edad, en esta investigación *G. ulmifolia* tuvo alturas similares al igual que los diámetros.

Chirinos-Torres et al. (2006) en su investigación de crecimiento y producción con cuatro tratamientos (volúmenes diarios de agua y frecuencia de riego) para *P. guajava* alcanzó alturas de T1 y T4-3 cm,

T2 y T3-4 cm no considerando los diámetros ya que los tallos son pequeños y no fueron considerados por los autores. Zamora-Cornelio et al. (2010) y Pérez-Hernández et al. (2011) mencionan que el crecimiento de las plántulas está directamente relacionado con el nivel de competencia por la luz, la cantidad de agua y por los tratamientos aplicados, mismas que ayudaron al crecimiento de las plántulas de las especies utilizadas en este trabajo.

En este sentido y de acuerdo con Sánchez-Sánchez y Hernández-Zepeda (2004) las plántulas se mantienen verdes a lo largo de su desarrollo, lo cual debe considerarse en su descripción, ya que el color de las partes y órganos de la planta son característicos y sus cambios dependen principalmente con la edad de la plántula (alturas).

## 5. Conclusiones

Los tratamientos pregerminativos favoreció el crecimiento de las plántulas, siendo los mejores para alturas rápidas el SmT4 para *S. macrophylla*, BsT4 para *B. simaruba* y el GuT4 para el *G. ulmifolia*. Para el *C. odorata* e *I. inicuil* se recomienda el control (CoC y IiC; sin tratamiento), para *E. capuli* (EcT1), *T. rosea* (TrT1) y *P. guajava* (PsT1). Los tratamientos buenos para aplicar al *P. aquatica* se recomiendan el PaT2 y para *B. crassifolia* el BcT3. Estos tratamientos ayudan a adquirir un crecimiento favorable y un diámetro basal adecuado e idóneo para reforestar lo rápido una zona afectada.

Los hallazgos descritos en el presente artículo resaltan la importancia de estas investigaciones y deja base para futuras investigaciones con relación a especies vegetales que crecen y desarrollan en áreas contaminadas por derrames de petróleo. De igual forma, se debe resaltar claramente la aportación de la revisión del estado del arte de la técnica utilizada, así como las áreas de oportunidad en esta investigación.

## Referencias

- Arriaga MV, Cervantes VG, Vargas-Mena A. (1994). Manual de reforestación con especies nativas: colecta y preservación de semillas, propagación y manejo de plantas. Secretaría Desarrollo Social, Instituto Nacional de Ecología y Universidad Nacional Autónoma de México.
- Blanco FA. (2000). Métodos apropiados de análisis estadísticos subsiguientes al análisis de varianza (ANDEVA). Agronomía Costarricense, 25, 53-60.
- Caballinas L, Carstens G, Lovecchio JP, Marshall PA, Rebori L, Soldo JC, Vallejo E, Vergani G. (2013). Hidrocarburos convencionales y no convencionales. Ciencia Hoy, 23(134), 41-48.
- Castro-Mancilla YV, de la Rosa-Manzano E, Castro-Nava S, Martínez-Avalos JG. (2019). Physiological responses of *Quercus oleoides* (Schltdl & Cham) to soils contaminated by diesel. Plant Production Science, 22(4), 519-529. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2019.1605833>
- Chan-Quijano JG, Cach-Pérez MJ, López-Mejía M. (2021). Especies vegetales con uso potencial en la remediación de zonas contaminadas en México. Revista Forestal del Perú, 36(1), 22-46. <https://doi.org/10.21704/rfp.v1i36.1703>
- Chan-Quijano JG, Ochoa-Gaona S, Pérez-Hernández I, Gutiérrez-Aguirre MA, Saragos-Méndez J. (2012). Germinación y sobrevivencia de especies arbóreas que crecen en suelos contaminados por hidrocarburos. Teoría y Praxis, 12, 102-119. <https://doi.org/10.22403/UQROOMX/TYP12/05>
- Chan-Quijano JG. (2011). Aplicación de técnicas de germinación a semillas de especies leñosas nativas promisorias para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos en Tabasco, México (tesis de licenciatura). Quintana Roo, México: Universidad de Quintana Roo.
- Chan-Quijano, J. G. (2015). Evaluación de la degradación de hidrocarburos del petróleo por bioestimulación con abonos orgánicos asociados a especies arbóreas (tesis de maestría en ciencias). El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR).

- Chirinos-Torres D, Marín-Larreal M, González-Palmar C, Lara C. (2006). Crecimiento y producción de plantas de guayabo (*Psidium guajava L.*) bajo riego e incidencia de frutos enfermos. Revista Facultad Agronómica, 23, 58-66.
- Davidson R, Gragnon D, Mauffett Y, Hernández H. (1998). Early survival, growth and foliar nutrients in native ecuatorian trees planted on degraded volcanic soil. Forest Ecology Management, 105, 1-19. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00295-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00295-8)
- Ferrera-Cerrato R, Rojas-Avelizapa GN, Poggi-Varaldo MH, Alarcón A, Cañizares-Villanueva OR (2006). Procesos de biorremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos. Revista Latinoamericana de Microbiología, 48(2), 179-187.
- Francis JK. (1990). *Bursera simaruba (L.) Sarg.* Almácigo, gumbo limbo. Forest Service, U.S.: Department of Agriculture. <https://research.fs.usda.gov/treesearch/30396>
- Manríquez-Mendoza LY. (2010). Establecimiento, calidad del forraje y productividad de un sistema silvopastoril intensivo bajo pastoreo de bovinos y ovinos en el trópico sub-húmedo (tesis doctoral). Veracruz: El Colegio de Postgraduados.
- Márquez-Ramírez J, Xotla-Valdés U, González-De la Torre JE. (2005). Estudio de germinación y crecimiento inicial de plántulas de Cedrela odorata L. Foresta Veracruzana, 7, 45-52.
- Meza-Sánchez R, Ruíz-Espinosa FH, Navejas-Jiménez J. (2009). Guía para la producción de plantación con especies nativas. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias y Centro de Investigación Regional Noroeste Campo Experimental Todos Santos.
- Mundarain S, Martín C, Cañizares A. (2005). Fenología del crecimiento y desarrollo de plántulas de ají dulce (*Capsicum frutescens L.*). Revista UDO Agrícola, 5(1), 62-67.
- Negreros-Castillo P, Apodaca-Martínez M, Mize CW. (2010). Efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de cedro, caoba y roble. Madera y Bosques, 16, 7-18. <https://doi.org/10.21829/myb.2010.1621169>
- Ochoa-Gaona S, Pérez-Hernández I, Frías-Hernández JA, Jarquín-Sánchez A, Méndez-Valencia A. (2011). Estudio prospectivo de especies arbóreas promisorias para la fitorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. El Colegio de la Frontera Sur.,
- Ochoa-Gaona S, Pérez-Hernández I, Jiménez-Pérez NC. (2008b). Descripción de las especies de árboles más comunes de la sierra de Tenosique, Tabasco, México. El Colegio de la Frontera Sur.
- Ochoa-Gaona S, Villanueva-López G, Hernández-Margalli I, Pérez-Hernández I. (2008a). Manual de semillas de especies forestales de las montañas de Tenosique, Tabasco. El Colegio de la Frontera Sur.
- Pennington TD, Sarukhán J. (2005). Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies. Fondo de Cultura Económica, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pérez-Hernández I, Ochoa-Gaona S, Adams RH, Rivera-Cruz MC, Pérez-Hernández V, Jarquín-Sánchez A, Geissen V, Martínez-Zurimendi P. (2017). Growth of four tropical tree species in petroleum-contaminated soil and effects of crude oil contamination. Environmental Science and Pollution Research, 24, 1769-1783. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7877-5>
- Pérez-Hernández I, Ochoa-Gaona S, Vargas-Simón G, Mendoza-Carranza M, González-Valdivia NA. (2011). Germinación y supervivencia de seis especies nativas de un bosque tropical de Tabasco, México. Madera y Bosques, 17(1), 71-91. <https://doi.org/10.21829/myb.2011.1711155>
- Ramírez-Marcial N, Luna-Gómez A, Castañeda-Ocaña HE, Martínez-Icó M, Holz SC, Camacho-Cruz A, González-Espinosa M. (2012). Guía de propagación de árboles nativos para la recuperación de bosques. Chiapas, México. El Colegio de la Frontera Sur.
- Rebollar-Domínguez S, Tapia-Torres NA. (2010). Anatomía de la madera de dos especies de Eugenia (Myrtaceae) de Quintana Roo, México. Madera y Bosques, 16, 85-98. <https://doi.org/10.21829/myb.2010.1611181>

- Reed R.C., Bradford K.J., Khanday I. (2022). Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity*, 128, 450-459. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2>
- Rincón A, Ligarreto G, Sanjuanelo D. (2007). Crecimiento del maíz y los pastos (*Brachiaria* sp.) establecidos en monocultivo y asociados en suelos ácidos del piedemonte llanero colombiano. *Revista Agronomía Colombiana*, 25, 264-272.
- Rodríguez-Rivas G, Dorantes-López J, Aquino-Rodríguez E. (2009). Ensayo de especies forestales en la zona cálida del centro del Estado de Veracruz, México. *Forestal Veracruzana*, 11, 19-24.
- Sánchez-Sánchez O, Hernández-Zepeda C. (2004). Estudio morfológico de plántulas de la familia Bombacaceae en Quintana Roo. *Forestal Veracruzana*, 6, 1-6.
- Tomalá-Rossi MA. (2002). Evaluación de tratamientos para aumentar la germinación en la semilla de aguacate (tesis de licenciatura). Honduras: Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH).
- Valle-Doménech A, Ochoa-Gaona S. (2008). Tratamientos pregerminativos y germinación de semillas de quince especies forestales nativas de selvas húmedas de México. Tenosique, Tabasco: Primer Encuentro de Investigación Científica de Tabasco. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Vargas-Simón G, Pire R, de la O de la O K. (2009). Efecto de la longitud radicular al momento del transplante sobre el crecimiento vegetativo de cuijinicuil (*Inga jinicuil* Schtdl, & Cham. ex. Ge. Don) en invernadero. *Agrociencia*, 43, 603-608.
- Zamora-Cornelio LF, Ochoa-Gaona S, Vargas-Simón G, Castellanos-Albores J, de Jong BHJ. (2010). Germinación de semillas y claves para la identificación de plántulas de seis especies arbóreas nativas de humedales del suroeste de México. *Revista de Biología Tropical*, 58, 717-732.