

COMPOSTAJE DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS Y SU EFECTO EN ESPECIES FORESTALES DE IMPORTANCIA ECONÓMICA EN EL NORTE DE SINALOA

Composting of organic solid waste and its effect on economically important forest species in northern Sinaloa

Reyna Marcelina VEGA-ARMENTA¹, Rey David RUELAS-AYALA²,
Rosario Raudel SAÑUDO-TORRES² y Jaime Alberto FÉLIX-HERRÁN*²

¹ Egresada de Ingeniería Forestal, Departamento de Ingenierías y Tecnologías, Universidad Autónoma Indígena de México, Prolongación 5 de mayo s/n, Ejido Poblado de Mochicahui, 81890 El Fuerte, Sinaloa, México.

² Departamento de Ingenierías y Tecnologías, Universidad Autónoma Indígena de México, Prolongación 5 de mayo s/n, Ejido Poblado de Mochicahui, 81890 El Fuerte, Sinaloa, México.

*Autor para correspondencia: jfelixherran@yahoo.com.mx

(Recibido: octubre 2023; aceptado: marzo 2024)

Palabras clave: biomasa foliar y radicular, materia orgánica, sustancias húmicas, desarrollo de planta, reutilización de residuos sólidos.

RESUMEN

El compostaje es un proceso de degradación aerobia que reconvierte los residuos sólidos orgánicos en abono. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes compost en la germinación y desarrollo de especies forestales en el norte del estado de Sinaloa. Se recolectaron residuos sólidos orgánicos que fueron compostados por 120 días en relación 3:1 (v/v) con estiércol de bovino y caracterizados física y químicamente. En un experimento se midió la alometría de variables dasométricas de las plantas de palo colorado y chile chiltepín, en un diseño completamente al azar, con ocho tratamientos y cuatro repeticiones. Se realizó un riego semanal con agua destilada y el testigo se regó con medio Murashige y Skoog (MS) líquido. En palo colorado, los compost de aserrín (A), de sorgo (S), de poda de pasto de jardín (P) y de restos de mercado (RM), así como un compost elaborado en el módulo de ecotecnias de la Universidad de Sinaloa, promovieron los mejores índices de calidad de Dickson. Los compost A, S y E promovieron la mejor robustez y lignificación en plantas de palo colorado. En las plántulas de chile chiltepín los compost A, P y MS promovieron la mayor longitud de raíz y mayor altura de la planta.

Key words: foliar and radicular biomass, organic matter, humic substances, plant development, reuse of solid wastes.

ABSTRACT

Composting is an aerobic degradation process that reconverts organic solid waste into fertilizer. This work aimed to evaluate the effect of different compost on the germination and development of forest species in the northern part of the state of Sinaloa. Organic solid wastes were collected and composted for 120 days in a 3:1 ratio (v/v) with bovine manure and characterized physically and chemically. In an experiment, the allometry of the plant growth variables of red wood and chiltepín chili was measured in a completely randomized design, with eight treatments and four replicates. Weekly irrigation was carried out with

distilled water and the control was irrigated with liquid Murashige and Skoog (MS) medium. In redwood, sawdust compost (A), sorghum compost (S), garden grass pruning compost (P), market waste compost (RM), and compost developed in the ecotechnics module of the University of Sinaloa, promoted the best Dickson's quality indexes. Composts A, S, and E promoted the best robustness and lignification in redwood seedlings. In chiltepín chili seedlings, compost A, P, and MS promoted the greatest root length and plant height.

INTRODUCCIÓN

El compostaje es un proceso de degradación aerobia cuyos principales parámetros son temperatura, aireación, humedad, porosidad y relación carbono/nitrógeno (C/N). Se basa fundamentalmente en la conversión de materia orgánica en un producto estable, libre de patógenos y semillas de malezas, de buena calidad, denominado compost, a través de diversas reacciones bioquímicas (Sayara et al. 2020).

La aplicación de compost al suelo afecta sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Osman 2018), favoreciendo su densidad aparente, la tasa de infiltración, conductividad hidráulica y contenido de agua, así como estructura del suelo, estabilidad de los agregados y porosidad (Cahyono et al. 2020, Kranz et al. 2020). También incrementa la actividad microbiana y aporta y retiene nutrientes para transformarlos en formas disponibles para las plantas. Además, la materia orgánica humidificada mejora el desarrollo de las plantas (Osman 2018, Cahyono et al. 2020). En cuanto a la germinación, Díaz-Pérez et al. (2021) mencionan que el mezclar compost con sustrato comercial se incrementa la emergencia de semillas de chile; más específicamente, Guo et al. (2019) mencionan que las sustancias húmicas presentes en el compost son las que promueven una mayor germinación.

Por otra parte, se sabe que los sectores productivos desechan enormes cantidades de residuos orgánicos. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) estima que en 2021 se desecharon en México 28 t de restos de mercado al año (de Miguel et al. 2021), los cuales generan grandes problemas no sólo por el deterioro progresivo del ambiente, sino también desde el punto de vista económico, puesto que los costos de recolección, transporte y disposición final van en aumento. En Sinaloa, las principales fuentes de residuos orgánicos son los desechos agrícolas y de mercado; además, Sinaloa se encuentra entre los ocho estados que concentran el 72.3 % de la producción de rastrojo del país, proveniente de los cultivos de maíz, sorgo, trigo, frijol y

cebada (SEMARNAT 2018). Una alternativa para el manejo de estos residuos es convertirlos en compost. Incorporar humus al suelo ayudaría a mejorar su fertilidad, facilitando la sostenibilidad de la actividad agrícola, al reconvertir un desecho en algo útil e inocuo (FAO 2019). La calidad del abono orgánico final se ve afectada por la naturaleza del sustrato en cuanto al contenido de sustancias húmicas, de allí la importancia de evaluar la calidad final del humus y su uso potencial como promotor de crecimiento en las plantas de importancia agrícola-forestal.

En otros aspectos, existen dos especies no maderables de gran potencial económico: el palo colorado, *Caesalpinia platyloba* S. Watson, una especie de la familia Fabaceae que se distribuye desde México hasta Sudamérica tropical (Rendón-Sosa y Sagayo-Lorenzana 2017), y el chile chiltepín, *Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser y Pickersgill, una especie de gran importancia económica que tiene propiedades nutraceuticas, nutritivas y como sazónador (Morales-Guzmán et al. 2018).

En México, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) ha utilizado *C. platyloba* en numerosos programas de reforestación en suelos erosionados y para producir pulpa para la industria del papel (Prieto et al. 2016). En el estado de Sinaloa, ubicado en el noroeste de México, existe una alta demanda de estacas de *C. platyloba*, las cuales se utilizan en la producción de tomate y chile, así como en la producción de postes (CONAFOR 2020). Se ha utilizado para distintos fines, entre ellos como madera, forraje, cerca viva, postes, varas, sombreo, purga para animales y almacenamiento de carbono (Sánchez-Soto et al. 2016, Díaz-Vázquez et al. 2019). Por su parte, el chile chiltepín se reconoce como el ancestro más cercano de la variedad *glabriusculum* y es de ocurrencia natural y amplia distribución en México (Ramírez-Novoa et al. 2018). El aprovechamiento comercial de chile chiltepín se ha explorado a partir de diversos criterios agronómicos con poco éxito, debido a la variación fenotípica y genotípica, lo que reduce el establecimiento ecológico y cultivo de la planta (González-Cortés et al. 2015).

Como se mencionó en los párrafos anteriores, el chile chiltepín y el palo colorado son especie forestales no maderables de gran importancia económica y nutricional (Morales-Guzmán et al. 2018). Sin embargo, se cuenta con poca información sobre el efecto de los compost en el desarrollo y crecimiento de estas especies nativas de la región norte de Sinaloa, y cómo influyen en la calidad de las plantas.

MATERIALES Y METODOS

Se recolectaron restos de mercado, poda de pasto de jardín *Cynodon dactylon* L. (Pers.), paja de maíz *Zea mays* subsp. *mays* L., paja de sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench y aserrín de pino, abreviados RM, P, M, S y A, respectivamente. Los materiales vegetales molidos se mezclaron por separado con estiércol de bovino en relación 1:3. Las mezclas se sometieron a compostaje por 120 días con el procedimiento descrito por Lal-Meena et al. (2021). El compostaje se realizó en cajas de plástico de 20 L de 50 × 30 × 20 cm (largo, ancho y alto, respectivamente). Se utilizaron tres replicas por tratamiento. El material se regó para mantener la capa externa húmeda y que la temperatura no sobrepasara los 50 °C. Los primeros 15 días se voltearon las mezclas de forma manual (con pala). El proceso de compostaje duró cuatro meses; al concluir el proceso, los compost fueron cosechados, almacenados al ambiente en costales para su maduración y tamizados (> 5 mm) para su posterior análisis en laboratorio. Adicionalmente se incluyó en el experimento un compost maduro producido en el modulo de ecotecnias de la Universidad de Sinaloa (E), compuesto de aserrín con estiércol bovino más un inóculo de suero de leche, melaza y aserrín, en relación 1:1:1.

La caracterización de los compost (**Cuadro I**) se llevó a cabo en el Laboratorio de Nutrición Vegetal del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional del Instituto Politécnico Nacional (CIIDIR-IPN, Unidad Sinaloa). De cada compost se tomó 1 kg de muestra y se tamizó con una malla > 5 mm. La caracterización física y química de los compost se llevó a cabo con la metodología propuesta por la NOM-021-RECNAT-2000 para pH, conductividad eléctrica, nitrógeno Kjeldahl, fósforo Olsen, cationes intercambiables y materia orgánica (SEMARNAT 2002).

Obtención y manejo de semillas

Las semillas de chile chiltepín se obtuvieron de frutos secos y maduros. Se seleccionaron las semillas de color amarillo fuerte, embrión amarillo claro, que

CUADRO I. ÍNDICE DE VELOCIDAD DE GERMINACIÓN (IVG) DE LAS SEMILLAS DE PALO COLORADO Y CHILE CHILTEPÍN.

Tratamiento	IVG (días)	
	Palo colorado	Chile chiltepín
Testigo MS	9.84 ± 0.15 a*	1.93 ± 0.17** ab
Testigo AD	9.69 ± 0.31 a	2.55 ± 0.16 a
P	8.44 ± 0.54 a	1.74 ± 0.16 bc
A	8.12 ± 0.25 ab	1.33 ± 0.11 bc
M	2.66 ± 0.69 c	1.72 ± 0.12 bc
S	7.34 ± 1.03 abc	0.91 ± 0.23 c
RM	5.17 ± 1.75 bc	1.35 ± 0.15 bc
E	9.06 ± 0.40 a	1.48 ± 0.17 bc

MS: testigo Murashige y Skoog; AD: testigo de agua destilada (AD); P: compost de poda de pasto de jardín; A: compost de aserrín; RM: compost de restos de mercado; M: compost de maíz; S: compost de sorgo; E: compost de las ecotecnias.

*Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$); **media de semillas germinadas ± error estándar de la media.

no presentaran deformación, ni embrión necrótico. Las semillas de palo colorado se obtuvieron de vainas secas. Se seleccionaron las semillas grandes con borde marrón verde oscuro, embrión verde claro y que no presentaran perforación por insectos.

La viabilidad de las semillas se evaluó por inmersión en agua destilada estéril. El criterio de selección fue descartar aquellas semillas que flotaban (Díaz-Vázquez et al. 2019). Las semillas se colocaron en papel absorbente, se secaron a temperatura ambiente y se almacenaron a 25 °C hasta su utilización.

Evaluación del desarrollo de plantas

Como tratamiento pregerminativo, las semillas viables de chile chiltepín se embebieron en una solución de 5000 ppm de ácido giberélico (AG₃) por 24 h; para las semillas viables de palo colorado, se aplicó escarificación con lija, que consistió en desgastar la testa con lija de agua núm. 400, sólo lo necesario para que el agua pudiera en el al embrión (Díaz-Vázquez et al. 2019).

Establecimiento de las plantas

Las semillas se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades que contenían una mezcla de compost-arena-vermiculita en relación 1:1:1 v/v. Se establecieron cuatro charolas por cada tipo de compost, las cuales se regaron semanalmente con agua destilada durante un mes. El tratamiento testigo se regó con medio Murashige y Skoog líquido y los restantes con agua destilada.

Variables evaluadas

Al término del mes se midieron las siguientes variables: se midieron la altura de la planta (mm) con una regla graduada, y el diámetro del cuello (mm) y la longitud de la raíz (mm) con un vernier digital Caliper Neiko; se extrajeron las plantas y se determinó la biomasa húmeda de follaje y raíz (g); se determinó la biomasa seca de follaje y raíz (g) mediante secado a 78 °C durante 72 h o hasta obtener el peso constante en un horno Labnet International modelo 2IIDS; se obtuvo el porcentaje de semillas germinadas para cada tratamiento y se calculó el índice de velocidad de germinación (IVG) mediante la ecuación 1 (Mendivil-Lugo et al. 2020):

$$IVG = \sum_{i=1}^n \left(\frac{n_i}{t_i} \right) \quad (1)$$

donde n_i es el número de semillas germinadas y t_i el tiempo necesario para alcanzar el mayor porcentaje de germinación

Asimismo, se determinó la relación entre altura de la planta (cm) y diámetro del tallo (mm), conocida como índice de robustez (IR) o de esbeltez (Trocones-Boggiano y Delgado-Fernández 2020, Basave-Villalobos et al. 2021). El índice de lignificación (IL) se obtuvo dividiendo el peso total seco (g) entre el peso total húmedo (g) y multiplicando el resultado por 100 (Silva-Dionisio et al. 2020). El índice de calidad de Dickson (ICD) se obtuvo con la ecuación 2 (Basave-Villalobos et al. 2021):

$$ICD = \frac{\text{Peso total seco (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} + \frac{\text{Peso seco de la parte aérea (g)}}{\text{Peso seco de la raíz (g)}}}$$

Análisis estadístico

Se verificó que los datos presentaran normalidad de los errores residuales con la prueba de Shapiro-Wilk ($p > 0.05$). Se determinaron la homocedasticidad con la prueba de Bartlett ($p > 0.05$) y la no autocorrelación de los datos con la prueba de Contraste de Durbin-Watson. El análisis estadístico y las pruebas se realizaron con el paquete estadístico R, v. 4.1.1 (R Core Team 2021). El diseño experimental fue completamente al azar. Para el análisis de varianza de una vía se utilizó la función “aov” y para la comparación de medias se utilizó la prueba de rangos múltiples de Tukey con el paquete “agricolae” (de Mendiburu 2021). El nivel de significancia para todas las pruebas fue $\alpha = 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de los diferentes compost en la germinación de semillas

El inicio de la germinación de las semillas de palo colorado comenzó al 4o día posterior a la siembra, mientras que para las semillas de chile chiltepín la emergencia comenzó 10 días después de la siembra. El efecto de los compost en la germinación mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en el IVG para ambas especies (**Cuadro I**). En el palo colorado, el IVG fluctuó entre 2.65 y 9.84 semillas germinadas por día. Los testigos MS y AD, y los compost E y P promovieron la mayor germinación: 9.84, 9.69, 9.06 y 8.44 semillas, respectivamente. Por su parte, la emergencia de las semillas de chile chiltepín inició 10 días después de la siembra (**Cuadro I**). El IVG fluctuó entre 0.91 y 2.55 semillas germinadas por día. Los testigos MS y AD también promovieron la mayor germinación: 1.93 y 2.55 semillas, respectivamente.

En su composición, el medio MS contiene micronutrientes y macronutrientes, como azúcares, vitaminas y reguladores del crecimiento (Sigma-Aldrich Factsheet M5519 [Sigma-Aldrich 2025]). Este medio se utiliza para la propagación in vitro de especies (Maiquetía-Mendoza et al. 2020). Por su composición nutricional, el medio MS líquido que se aplicó a las semillas pudo haber favorecido la germinación de las semillas de palo colorado y chile chiltepín.

La germinación de las especies del género *Caesalpinia* es epigea. Para *C. spinosa* inicia entre 8 y 12 días después de la siembra y finaliza a los 20 días (Lindo-Ángulo et al. 2017), lo cual concuerda con lo encontrado en este ensayo. La emergencia de las semillas de *C. platyloba* comenzó cuatro días después de la siembra y se prolongó hasta los 20 días.

Ensayo en charola de poliestireno

Palo colorado

En plántulas de palo colorado (*C. platyloba*) se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el diámetro, la longitud de raíz y la altura (**Cuadro II**). El compost A promovió el mayor diámetro y la mayor longitud de raíz. El testigo MS promovió la mayor altura. La lignina presente en el aserrín y el sorgo es precursora de la materia orgánica del suelo, que favorece el desarrollo de las plantas y la acumulación de biomasa (Wu et al. 2020). Esto se observó en las plantas de palo colorado. Los compost A y S promovieron el desarrollo en las plantas de palo colorado en comparación con los testigos.

CUADRO II. EFECTO DE DIFERENTES COMPOST SOBRE LA ALOMETRÍA EN PLANTAS DE PALO COLORADO.

Tratamiento	Diámetro (mm)	Raíz (mm)	Altura (mm)
Testigo MS	1.0 ± 0.1 b*	3.5 ± 0.3 ab	80.8 ± 3.6 a
Testigo AD	1.0 ± 0.1 b	3.3 ± 0.2 b	76.4 ± 5.2 a
P	1.2 ± 0.2 ab	3.4 ± 0.1 ab	71.4 ± 3.4 ab
A	1.4 ± 0.1 a	5.2 ± 0.6 a	55.3 ± 4.1 bc
M	0.8 ± 0.1 b	4.7 ± 0.1 ab	38.1 ± 6.9 cd
S	0.9 ± 0.1 b	4.8 ± 0.1 ab	29.8 ± 5.2 d
RM	0.9 ± 0.2 b	3.9 ± 0.4 ab	61.4 ± 0.5 ab
E	1.2 ± 0.1 ab	4.1 ± 0.6 ab	51.6 ± 2.5 bc

MS: testigo Murashige y Skoog; AD: testigo de agua destilada (AD); P: compost de poda de pasto de jardín; A: compost de aserrín; RM: compost de restos de mercado; M: compost de maíz; S: compost de sorgo; E: compost de las ecotecias. *Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Oliveira et al. (2017), quienes evaluaron el efecto de sustratos orgánicos en *C. pluviosa* sobre la calidad de planta, y reportaron que las plantas que crecieron en las mezclas con humus presentaron mejores características físicas (altura, diámetro del tallo, peso seco de raíz y peso seco foliar) e comparación con las plantas que crecieron en sustratos comerciales.

El índice de robustez mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en los diferentes compost evaluados (**Cuadro III**). Este índice representa la relación entre altura y diámetro. Valores bajos indican mejor calidad de la planta, ya que ésta es más robusta y su tallo es más vigoroso que en aquellas con valores altos de IR, los cuales indican desproporción entre crecimiento, altura y diámetro, como pueden ser tallos elongados con diámetros delgados

(Prieto-Ruiz et al. 2009). Los compost S, A y de E presentaron los mejores índices de robustez: 3.4, 4.0 y 4.5, respectivamente.

El IR en plántulas de *C. platyloba* fue menor de 8, lo que coincide con lo reportado en mezquite por Prieto-Ruiz et al. (2012), el cual debe ser menor de 8. Por otra parte, las plantas con tratamientos fueron más robustas ($p < 0.05$) entre los compost S, A y E, en comparación con los testigos AD y MS.

Estos resultados también apoyan la idea de que las plantas son de mejor calidad, como mencionan Basave-Villalobos et al. (2021), quienes evaluaron índices de calidad de planta en *C. coriaria*, concluyendo que cuando se producen plantas en vivero es mejor que sean robustas, ya que se asume que son más vigorosas. De ahí que, para muchas especies forestales, se considera que mientras mayor sea la

CUADRO III. EFECTO DE LOS DIFERENTES COMPOST EN LOS ÍNDICES DE CALIDAD DE LA PLANTA DE PALO COLORADO.

Tratamiento	Índice de robustez	Índice de lignificación	Índice de Dickson
Testigo MS	8.5 ± 0.8 a*	48.2 ± 0.6 bc	0.06 ± 0.01 de
Testigo AD	9.7 ± 1.0 ab	43.7 ± 2.8 c	0.04 ± 0.01 e
P	6.4 ± 0.6 abc	57.5 ± 1.4 a	0.11 ± 0.01 bc
A	4.0 ± 0.5 c	60.6 ± 0.5 a	0.19 ± 0.02 a
M	5.0 ± 1.0 bc	34.5 ± 0.7 d	0.02 ± 0.01 e
S	3.4 ± 0.6 c	54.5 ± 1.5 ab	0.15 ± 0.01 ab
RM	6.7 ± 0.8 abc	55.5 ± 1.4 a	0.10 ± 0.01 cd
E	4.5 ± 0.5 c	56.0 ± 1.2 a	0.14 ± 0.02 bc

MS: testigo Murashige y Skoog; AD: testigo de agua destilada (AD); P: compost de poda de pasto de jardín; A: compost de aserrín; RM: compost de restos de mercado; M: compost de maíz; S: compost de sorgo; E: compost de las ecotecias.

*Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

robustez las plantas tendrán mayor probabilidad de sobrevivencia al trasplante en campo. Estos autores afirman que se puede inducir la robustez en viveros favoreciendo el crecimiento del diámetro del tallo y no mediante una baja relación definida por la altura de las plantas.

Asimismo, Mélo-Moreira et al. (2018) evaluaron sustratos orgánicos en el desarrollo de *C. pulcherrima* utilizando los índices de calidad de planta. Encontraron que los sustratos a base de poda de árboles, estiércol, compost de restos de mercado y fibra de *Agave sisalana* promovieron una mayor calidad de planta en plántulas de *C. pulcherrima* a los 90 días de la siembra.

En el presente estudio se observó que las plántulas de *C. platyloba* en sustratos orgánicos presentaron mejor desarrollo del diámetro del tallo; por lo tanto, se favoreció la robustez de las mismas con relación al tratamiento testigo.

Para el índice de lignificación (IL) también se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$; **Cuadro III**). El IL de las plantas representa la relación porcentual entre el peso seco y el peso húmedo e indica el nivel de endurecimiento o grado de lignificación del tallo de la planta sometida a estrés (Silva-Dionisio et al. 2020). La lignina es un componente foliar utilizada como índice de calidad del material vegetal, ya que su concentración ayuda a predecir la tasa de descomposición del tejido foliar (Meentemeyer 1978). Esta descomposición afecta la producción primaria al regular el suministro a la planta de nutrimentos mineralizados (Kitayama et al. 2004). Lo anterior explica, en cierta medida, las diferencias de productividad. En la madera de árboles tropicales, el contenido de lignina es de 20 al 30 % (Boudet 1998, Whetten et al. 1998).

Mélo-Moreira et al. (2018) reportaron un incremento en el desarrollo de *C. pulcherrima* en sustratos orgánicos a base de compost de residuos sólidos orgánicos y compost de fibras naturales. Estos autores afirman que, en otros ensayos con especies del mismo género como *C. pyramidalis* Tul. y *C. ferrea* Mart., en los que se evaluaron sustratos orgánicos en condiciones controladas, se encontró una respuesta a la fertilización orgánica reflejada en un incremento en el desarrollo de las dos especies.

El Índice de Calidad de Dickson (ICD) es un modelo balanceado que incluye relaciones de características morfológicas, por lo que plántulas con mayores ICD presentan mejor calidad de planta (Prieto et al. 2009). Para el ICD también se encontraron diferencias estadísticamente significativas (**Cuadro III**). El mayor ICD se obtuvo con el

compost A (0.1898), seguido por el S (0.15) y el P (0.11), mientras que el menor índice se obtuvo con el compost de maíz (0.02). Las sustancias húmicas presentes en los compost favorecen la elongación celular y el desarrollo de las plantas (Sayara et al. 2020). El aserrín contiene lignina y taninos, que son precursores de las sustancias húmicas (Colpas-Castillo et al. 2018), por lo que este compost indujo mayor contenido de materia orgánica (40.6 %) y por ende un mayor contenido de sustancias húmicas. Como se mencionó antes, las sustancias húmicas favorecen la elongación celular (Colpas-Castillo et al. 2018). Prieto et al. (2009) mencionan que a mayor ICD mejor calidad de la planta.

Mélo-Moreira et al. (2018) evaluaron el efecto de sustratos orgánicos en el crecimiento de *C. pulcherrima*, y afirman que la adición de compost RM al sustrato promueve el incremento de las variables de crecimiento y especialmente el ICD. A los 90 días de la siembra, los sustratos orgánicos promovieron ICD mayores a los del tratamiento control. Esto se observó también en los resultados de la presente investigación, aunque cabe señalar que el ensayo duró un mes, por lo que, de haber continuado, se habrían obtenido ICD mayores.

Chile chiltepín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser y Pickersgill) Efecto de los diferentes compost en el desarrollo de plantas de chile chiltepín

Las plántulas de chile chiltepín presentaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto al efecto de los compost en el diámetro, altura, longitud de raíz, biomasa radicular y biomasa foliar (**Cuadros IV y V**). El mayor diámetro se obtuvo con los compost A y P: 1.6 y 1.0 mm, respectivamente. Con el resto de los compost y los testigos no se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$). La mayor longitud de raíz se obtuvo con los compost A, E y P: 8.3, 7.6 y 6.8 cm, respectivamente. Para la variable altura de la planta se mantuvo la tendencia observada en la longitud de raíz. El testigo MS y los compost E, P y A promovieron la mayor altura: 6.9, 6.7, 6.6 y 6.5 cm, respectivamente. El testigo AD y el resto de los compost no presentaron diferencias significativas.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Panjaitan et al. (2018), quienes evaluaron el efecto del compost de ceniza volcánica en chile *Capsicum annuum* L., mencionando que la adición de ceniza no influyó significativamente en el desarrollo ni en la producción de frutos de chile, pero si mejoró la fertilidad del suelo.

CUADRO IV. EFECTO DE LOS DIFERENTES COMPOST EN EL DESARROLLO Y CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE CHILE CHILTEPÍN.

Tratamiento	Diámetro (mm)	Raíz (cm)	Altura (cm)
Testigo MS	0.6 ± 0.01 cde*	6.2 ± 0.2 bc	6.9 ± 0.2 a
Testigo AD	0.5 ± 0.02 de	4.1 ± 0.1 d	5.3 ± 0.2 b
P	1.0 ± 0.01 b	6.8 ± 0.2 abc	6.6 ± 0.1 a
A	1.6 ± 0.06 a	8.3 ± 0.9 a	6.5 ± 0.1 a
M	0.5 ± 0.02 e	4.1 ± 0.3 d	4.9 ± 0.1 b
S	0.6 ± 0.03 cde	6.2 ± 0.2 bc	5.6 ± 0.5 b
RM	0.8 ± 0.01 bcd	5.0 ± 0.2 cd	5.5 ± 0.2 b
E	0.8 ± 0.04 bc	7.6 ± 0.8 ab	6.7 ± 0.1 a

MS: testigo Murashige y Skoog; AD: testigo de agua destilada (AD); P: compost de poda de pasto de jardín; A: compost de aserrín; RM: compost de restos de mercado; M: compost de maíz; S: compost de sorgo; E: compost de las ecotecias.

*Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

CUADRO V. EFECTO DE LOS DIFERENTES COMPOST EN LA BIOMASA DE PLÁNTULAS DE CHILE CHILTEPÍN.

Tratamiento	Peso seco		
	Raíz (g)	Follaje (g)	R/F
Testigo MS	0.03 ± 0.02 abc*	0.4 ± 0.06 abc	0.08
Testigo AD	0.02 ± 0.01 bc	0.3 ± 0.05 c	0.1
P	0.03 ± 0.01 ab	0.4 ± 0.02 abc	0.7
A	0.04 ± 0.02 a	0.5 ± 0.1 a	0.08
M	0.01 ± 0.03 c	0.2 ± 0.01 bc	0.05
S	0.03 ± 0.01 ab	0.4 ± 0.02 abc	0.07
RM	0.03 ± 0.01 bc	0.4 ± 0.02 abc	0.07
E	0.04 ± 0.03 ab	0.4 ± 0.03 ab	0.1

R/F: relación raíz-follaje; MS: testigo Murashige y Skoog; AD: testigo de agua destilada (AD); P: compost de poda de pasto de jardín; A: compost de aserrín; RM: compost de restos de mercado; M: compost de maíz; S: compost de sorgo; E: compost de las ecotecias.

*Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Mares-Quiñones y Valiente-Banuet (2019) mencionan que la aplicación de lombricomposta al chile chiltepín en etapa de plántula favorece el crecimiento de la planta en términos de biomasa seca foliar y radicular, así como la altura de la planta y una mayor producción de fruto. En un ensayo similar, Lara-Capistrán et al. (2020) evaluaron el efecto de lombricomposta y biofertilizantes en chile dulce *Capsicum annuum* L. en comparación con la fertilización

química. Estos autores mencionan que las plantas de chile fertilizadas con lombricomposta presentaron mayor altura y diámetro del tallo comparadas con las plantas de chile con fertilización química. En el presente ensayo, las plantas del testigo MS no presentaron diferencia estadística con los compost. Como se comentó previamente, el medio MS contiene macro y micronutrientes y fitohormonas que promueven la elongación celular. Izquierdo-Oviedo et al. (2017) evaluaron la micropropagación de chile chiltepín *Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum* en medio MS, mencionando que las plantas en este medio presentaron más masa seca y mayor número de brotes.

Calidad de los compost

Los resultados de la caracterización física y química de los compost se muestran en el **Cuadro VI**. El pH de los compost en general fue alcalino excepto en el E, que fue cercano al neutro, lo cual indica que su grado de madurez fue mayor al resto.

Gallegos-Cedillo et al. (2021) mencionan que la materia orgánica de los compost contribuye a que las plantas sean más robustas y, por lo tanto, tengan mayor probabilidad de sobrevivir al trasplante y tolerar condiciones adversas del suelo, como la salinidad. Sugieren que, debido a que se mejora la fotosíntesis, transpiración, absorción de agua y nutrientes por la raíz de la planta. En el presente ensayo el compost A presentó el mayor contenido de materia orgánica y también promovió los mejores IL e índice de calidad de Dickson en las plantas de palo colorado. En las plantas

CUADRO VI. CALIDAD DE LOS COMPOST PRODUCIDOS A PARTIR DE DIFERENTES MATERIALES VEGETALES COMPARACIÓN DE MEDIAS DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y ORGÁNICA DE LAS COMPOSTAS PRODUCIDAS A PARTIR DE DIFERENTE MATERIAL VEGETAL.

Compost	pH	CE (dS/ cm)	N (%)	P (g/kg _{ss})	K	Ca Mg Na			MO (%)
						(g/kg _{ss})			
P	8.4c	16.6a	1.3b	1.4a	5.7b	3.0a	0.2a	0.24a	38.3a
A	8.4bc	2.9c	1.2b	1.1ab	3.2c	2.7a	0.3a	0.25a	40.6a
RM	8.8ab	12.0ab	2.2a	1.0bc	5.7b	3.1a	0.2a	0.25a	25.9b
M	8.9a	9.9b	1.5b	0.7c	6.2ab	2.4a	0.3a	0.30a	19.3c
S	9.0a	11.8ab	1.1b	0.9bc	6.4a	2.1a	0.2a	0.25a	23.0bc
E	7.4d	3.85c	1.5b	1.4ab	2.3d	2.7a	0.3a	0.25a	24.6b

CE: conductividad eléctrica; N: nitrógeno; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; Mg: magnesio; Na: sodio; kg_{ss}: kilogramos de suelo seco; MO: materia orgánica; MS: testigo Murashige y Skoog; AD: testigo de agua destilada (AD); P: compost de poda de pasto de jardín; A: compost de aserrín; RM: compost de restos de mercado; M: compost de maíz; S: compost de sorgo; E: compost de las ecotecias.

*Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

de chile chiltepín se mantuvo la tendencia. El compost A promovió la mayor acumulación de biomasa y el mejor desarrollo en términos de altura y diámetro.

Klimas et al. (2016) mencionan que los compost y el lombricompost elaborados a partir de residuos contienen sustancias que influyen en la germinación de las semillas y en el desarrollo de la planta, como vitaminas o fitohormonas, o promueven la producción de ácido indol-3-acético y giberelinas. Esto se observó en plantas de palo colorado y chile chiltepín. Las plantas fertilizadas con compost presentaron mejor desarrollo y acumulación de biomasa que el tratamiento testigo, principalmente con el compost A. Adicionalmente, Aylaj y Adani (2023) sugieren que el compostaje de residuos orgánicos de mercado, aserrín y estiércol bovino, reduce la fitotoxicidad, y se producen fitohormonas que estimulan el crecimiento de las plantas.

Durante el proceso de humificación de la materia orgánica, los polipéptidos y aminoácidos libres que se obtienen a través de la hidrólisis química o enzimática de los residuos de animales o plantas, podrían causar diferentes efectos de bioestimulación; es decir, la estimulación de procesos naturales para incrementar la absorción y eficiencia de los nutrientes. La tolerancia al estrés abiótico y la calidad del cultivo varían en función de la naturaleza del material precursor (Colla et al. 2014). Más aun, el producto de la humificación podría actuar como regulador del crecimiento vegetal por la presencia de diversos péptidos bioactivos que podrían actuar como fitohormonas (Colla et al. 2017). De ahí que estas rutas bioquímicas, ya sea de forma independiente o combinada, puedan causar un

efecto diferente en el crecimiento de la plántula y en la resistencia al estrés provocado por el trasplante (Testani et al. 2016).

CONCLUSIÓN

El compostaje es una alternativa para procesar residuos sólidos orgánicos como el aserrín, los esquilmos agrícolas, poda de pasto de jardín y residuos de mercado, convirtiéndolos en abono orgánico o humus. El contenido de materia orgánica, nutrientes y sustancias húmicas del humus dependerá de la naturaleza de los materiales utilizados. Por lo tanto, los materiales más lignificados como el aserrín y poda de pasto jardín presentaron mayor contenido de materia orgánica.

Por su composición, el medio MS promueve el desarrollo en plantas de chile chiltepín y palo colorado en cuanto a altura y longitud de raíz.

En palo colorado los compost A, S, E, P y RM promovieron los mejores índices de calidad de Dickson.

Los compost A, S y E promovieron la mejor robustez y lignificación en plantas de palo colorado.

En las plántulas de chile chiltepín, los compost A y P, y el testigo MS, promovieron las mayores longitud de raíz y altura de la planta.

REFERENCIAS

Aylaj M. y Adani F. (2023). The evolution of compost phytotoxicity during municipal waste and poultry manure

- composting. *Journal of Ecological Engineering* 24 (6), 281-293. <https://doi.org/10.12911/22998993/161822>
- Basave-Villalobos E., Cetina-Alcalá V. M., López-López M. A., Ramírez-Herrera C., Trejo C. y Conde-Martínez V. (2021). La poda aérea como práctica cultural en vivero para *Caesalpinia coriaria* (Jacq.) Willd. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12 (63), 1-12. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i63.799>
- Boudet A.M. (1998). New view of lignifications. *Trends in Plant Science* 3 (2), 67-71. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(97\)01176-X](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(97)01176-X)
- Cahyono P., Loekito S., Wiharso D., Afandi, Rahmat A., Nishimura N. y Senge M. (2020). Effects of compost on soil properties and yield of pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.) on red acid soil, Lampung, Indonesia. *International Journal of GEOMATE* 19 (76), 33-39. <https://doi.org/10.21660/2020.76.87174>
- Colla G., Roupheal Y., Canaguier R., Svecova E. y Cardarelli M. (2014). Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. *Frontiers in Plant Science* 5, 448. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00448>
- Colla G., Hoagland L., Ruzzi M., Cardarelli M., Bonini P., Canaguier R. y Roupheal Y. (2017). Biostimulant action of protein hydrolysates: Unraveling their effects on plant physiology and microbiome. *Frontiers in Plant Science* 8, 2202. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02202>
- Colpas-Castillo F., Tarón-Dunoyer A.A. y Mercado-Camargo J.E. (2018). Agricultural soils strengthening employing humic acids and its effect on plant growth chili pepper and eggplant. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 30 (11), 941-945. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i11.1845>
- CONAFOR (2020). Manual para el establecimiento de unidades productoras de germoplasma forestal. Coordinación de Conservación y Restauración, CONAFOR-SEMARNAT, Ciudad de México, 70 pp.
- De Mendiburu F. (2021). *Agricolae: Statistical procedures for agricultural research*. R package version 1.3-5 pp. [en línea]. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae> 13/03/2024
- De Miguel C., Martínez K., Pereira M. y Kohout M. (2021). Economía circular en América Latina y el Caribe: oportunidad para una recuperación transformadora, Documentos de Proyectos (LC/TS.2021/120), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile, 100 pp.
- Díaz-Pérez J.C., Germishuizen P. y Biscaia-Ribeiro da Silva A.L. (2021). Effect of compost application at transplant stage and before planting to the field on plant growth and fruit yield in bell pepper (*Capsicum annum* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 52 (22), 2793-2802. <https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1956525>
- Díaz-Vázquez D.P., Félix-Herrán J.A., Sañudo-Ayala E. y Ruelas-Ayala R.D. (2019). Respuesta de las semillas de palo colorado (*Caesalpinia platyloba* S. Watson) a diferentes tratamientos pregerminativos. *Revista Tecnociencia Chihuahua* 13 (3), 173-180. <https://doi.org/10.54167/tch.v13i3.480>
- FAO (2019). Código internacional de conducta para el uso y manejo de fertilizantes. Manual. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia, 56 pp.
- Gallegos-Cedillo V.M., Diáñez F., Nájera C. y Santos M. (2021). Plant agronomic features can predict quality and field performance: A bibliometric analysis. *Agronomy* 11 (11), 2305. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112305>
- González-Cortés N., Jiménez-Vera R., Guerra-Baños E.C., Silos-Espino H. y Payro de la Cruz E. (2015). Germinación del chile amashito (*Capsicum annum* L. var. *glabriusculum*) en el sureste mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11, 2211-2218. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/800/633>
- Guo X., Liu H. y Wu S. (2019). Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. *Science of The Total Environment* 662, 501-510. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.137>
- Izquierdo-Oviedo H., Alcaraz Meléndez L. y Rodríguez-Álvarez M. (2017). Micropropagación de chiltepín (*Capsicum annum* L. cv. '*glabriusculum*') mediante el empleo de una oligosacarina de origen péctico. *Acta Universitaria* 27 (5), 34-43. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1452>
- Kitayama K., Suzuki S., Hori M., Takyu M., Aiba S.I., Majalaplee N. y Kikuzawa K. (2004). On the relationships between leaf-litter lignin and primary productivity in tropical rain forest. *Ecologies* 140, 335-339. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1590-7>
- Klimas E., Szymbańska-Pulikowska A., Górka B., Wiczorek P. (2016). Presence of plant hormones in compost made from organic fraction of municipal solid wastes. *Journal of Elementology* 21 (4), 1043-1053. <https://doi.org/10.5601/jelem.2015.20.4.1001>
- Kranz C.M., McLaughlin R.A., Johnson A., Miller G. y Heitman J.L. (2020). The effects of compost incorporation on soil physical properties in urban soils – A concise review. *Journal of Environmental Management* 261, 110209. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110209>
- Lal-Meena A., Karwal M., Dutta D. y Mishra R.P. (2021). Composting: Phases and factors responsible for

- efficient and improved composting. *Agriculture and Food: E-Newsletter* 3 (1), 85-90. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13546.95689>
- Lara-Capistrán L., Zulueta-Rodríguez R., Murillo-Amador B., Romero-Bastidas M., Rivas-García T. y Hernández-Montiel L.G. (2020). Respuesta agronómica del chile dulce (*Capsicum annuum* L.) a la aplicación de *Bacillus subtilis* y lombricomposta en invernadero. *Terra Latinoamericana* 38 (3), 693-704. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.737>
- Lindo-Angulo, T., La Torre-Acuy M.I., Luján-Roca D.A. (2017). Efecto de la temperatura y el ácido giberélico en la germinación de semillas de *Caesalpinia spinosa* (tara). *The Biologist* 15 (1), 59-64. <https://doi.org/10.24039/rtb2017151143>
- Maiquetía-Mendoza M.Y., Vargas-Cedeño T.E., Toro-García M. y García de García E.C. (2020). Estudios en la germinación y propagación in vitro de tres especies de Leguminosae: *Calopogonium* sp., *Stylosanthes capitata* y *Cassia moschata*. *Revista Científica Ecociencia* 7 (6), 1-25. <https://doi.org/10.21855/ecociencia.76.393>
- Mares-Quñones M.D. y Valiente-Banuet J.I. (2019). Horticultural aspects for the cultivated production of piquin peppers (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) – A review. *Hortscience* 54 (1), 70-75. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI113451-18>
- Meentemeyer V. (1978). Macroclimate and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology* 59, 465-472. <https://doi.org/10.2307/1936576>
- Mélo-Moreira F., Abrahão-Nóbrega R.S., Pedreira dos Santos R., Castor da Silva C. y Azevedo Nóbrega J.C. (2018). Cultivation of *Caesalpinia pulcherrima* L. SW. in regional substrates. *Revista Árvore* 42 (2), e420212. <https://doi.org/10.1590/1806-90882018000200012>
- Mendivil-Lugo C., Nava-Pérez E., Armenta-Bojórquez A.D., Ruelas-Ayala R.D. y Félix-Herrán J. A. (2020). Elaboración de un abono orgánico tipo bocashi y su evaluación en la germinación y crecimiento del rábano. *Biotecnia* 22 (1), 17-23. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i1.1120>
- Morales-Guzmán V., Morales-Calva E., Gallardo-Sandoval A. y Ortega-Rangel L. (2018). Evaluación de chiltepín (*Capsicum annuum* L.) producido bajo condiciones de invernadero en Xicotepec de Juárez, Puebla. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales* 4 (14), 37-40.
- Oliveira D.M., Caron B.O., Elli E.V., Monteiro G.C., Schwerz F., Basso C.J. y Manfron P.A. (2017). Production and quality of *Caesalpinia pluviosa* seedlings in different substrates. *Jaboticabal* 45 (1), 1-8. <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2017v45n1p1-8>
- Osman K.T. (2018). *Management of soil problems*. 1a. ed. Springer, Londres, Inglaterra, 474 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-75527-4>
- Panjaitan E., Napitupulu N. S. y Khan A. (2018). The effect of organic fertilizer and compost of volcanic ash on growth and yield of red chili (*Capsicum annuum* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 215, 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/215/1/012028>
- Prieto-Ruiz J.A., García Rodríguez J.L., Mejía Bojórquez J.M., Huchín Alarcón S. y Aguilar Vitela J.L. (2009). Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Norte-Centro (INIFAP-CIRNOC). Durango, Durango, México, 53 pp.
- Prieto-Ruiz J.A., Ríos S.J.C., Monárrez-González J.C., García-Rodríguez J.L., Mejía-Bojórquez J.M. y Bustamante-García V. (2012). Recomendaciones para la producción de planta de mezquite en condiciones de vivero. Campo Experimental Valle del Guadiana, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Norte-Centro (INIFAP-CIRNOC). Durango, Durango, México, 32 pp.
- Prieto-Ruiz J.A., Aldrete A., Hernández Díaz J.C. y Goche-Télles J.R. (2016). Causas de mortalidad de las reforestaciones y propuestas de mejora. En: *Las reforestaciones en México: problemática y alternativas de solución* (Prieto Ruiz J.A. y Goche Telles J.R., Eds.). Universidad Juárez del Estado de Durango, Durango, México, pp. 54-65.
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing v. 4.1.0. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria [en línea]. <https://www.R-project.org/> 13/03/2024
- Ramírez-Novoa U.I., Cervantes-Ortiz F., Montes-Hernández S., Raya-Pérez J.C., Cibrián-Jaramillo A. y Andrión-Enriquez E. (2018). Diversidad morfológica del chile piquín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) de Querétaro y Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9 (6), 1159-1170.
- Rendón-Rosa K. y Sayago-Lorenzana R.C. (2017). Efecto de distintos sustratos en la germinación del quebrache (*Caesalpinia platyloba*). *Memorias del 4o Encuentro de Jóvenes en la Investigación del Bachillerato CONACYT, Acapulco, Guerrero*. Tlamati Sabiduría 8 (2), 1-5.
- Sánchez-Soto B.H., Pacheco-Aispuro E., Reyes-Olivas A., Lugo-García G. A., Casillas-Álvarez P. y Saucedo-Acosta C.P. (2016). Ruptura de latencia física en semillas de *Caesalpinia platyloba* S. Watson. *Interciencia* 41, 691-695.

- Sayara T., Basheer-Salimia R., Hawambe F. y Sánchez A. (2020). Recycling of organic wastes through composting: Process performance and compost application in agriculture. *MDPI Journal Agronomy* 10 (11), 1838. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111838>
- SEMARNAT (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación, México, 31 de diciembre.
- SEMARNAT (2018). Informe de la situación del medio ambiente en México 2018. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México, 487 pp.
- Sigma-Aldrich (2025). Product specification: Murashige and Skoog basal medium powder, suitable for plant cell culture. Product number: M5519. Sigm-Aldrich, San Louis, Misuri, EUA [en línea]. <https://www.sigma-aldrich.com/04/02/2025>
- Silva-Dionisio L.F., Cusi Auca E., de Almeida-Milhomem C., Schwartz G., Miró-Agurto J. J. y Corvera-Gomringer R. (2020). *Bertholletia excelsa*: Growth and quality of seedlings produced under different environmental conditions. *Brazilian Journal of Development* 6, 38589-38603. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n6-414>
- Testani E., Campanelli G., Leteo F., Ciaccia C., Canali S. y Tittarelli F. (2016). Sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) organic seedling production: The role of compost, cultivar, and protein hydrolysate. *Compost Science and Utilization* 25 (2), 112-119. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2016.1219682>
- Trocones-Boggiano A.G. y Delgado-Fernández L.A. (2020). Effect of FitoMas-E on seed germination and plant quality of *Chrysophyllum cainito* L. (caimito) in nursery conditions. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 8 (1), 104-121.
- Whetten R.W., MacKay J.J. y Sederoff R.R. (1998). Recent advances in understanding lignin biosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 49, 585-609. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.49.1.585>
- Wu J., Deng Q., Xiong H., Zhang M., Zhao X., Wang M., Hu Y., Su H., Zhang G. Chu y Zhang D. (2020). Reduced lignin decomposition and enhanced soil organic carbon stability by acid rain: Evidence from ¹³C Isotope and ¹³C NMR analyses. *Forests* 11, 1191. <https://doi.org/10.3390/f11111191>