



Una publicación de la Universidad Autónoma de Nuevo León

Dr. Med. Santos Guzmán López
Rector

Dr. Mario Alberto Garza Castillo
Secretario General

Dr. Jaime Arturo Castillo Elizondo
Secretario Académico

Dr. José Javier Villarreal Álvarez Tostado
Secretario de Extensión y Cultura

Mtro. Mario Emilio Gutierrez Caballero
Abogado General de la UANL

Lic. Antonio Jesús Ramos Revillas
Director de Editorial Universitaria

Dra. Diana Reséndez Pérez
Coordinadora de la Facultad de Ciencias Biológicas

Dr. Marco Antonio Alvarado Vázquez
Dr. Sergio Manuel Salcedo Martínez
Editores Responsables

Dra. Diana Elena Aguirre Cavazos
Editora Invitada

Dr. Jorge Luis Hernández Piñero
Circulación y Difusión

PLANTA, Año 20, N° 31, Agosto 2025. Es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Ciencias Biológicas. Domicilio de la publicación: Ave. Pedro de Alba y Manuel Barragán, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, C.P. 66451. Teléfono: + 52 81 83294110 ext. 6456. Fax: + 52 81 83294110 ext. 6456. Editores responsables: Dr. Marco Antonio Alvarado Vázquez y Dr. Sergio Manuel Salcedo Martínez. Reserva de derechos al uso exclusivo: 04-2022-110813543200-102. ISSN 2007-1167, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Licitud de título y contenido No. 14,926, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Registro de marca ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial: En trámite. Impresa por: Imprenta Universitaria, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, C.P. 66455. Fecha de terminación de impresión: 29 de agosto de 2025, Tiraje: 250 ejemplares. Distribuido por: Universidad Autónoma de Nuevo León a través de la Facultad de Ciencias Biológicas. Domicilio de la publicación: Ave. Pedro de Alba y Manuel Barragán, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, C.P. 66455. Las opiniones y contenidos expresados en los artículos son responsabilidad exclusiva de los autores.

Esta publicación en su integridad y los derechos contenidos en ella, están protegidos por la Ley Federal de Derecho de Autor y la Ley Federal de Protección a la Propiedad Industrial por lo que no podrá ser reproducida con fines comerciales sin autorización del editor. Asimismo, queda prohibido cualquier uso sobre esta publicación, sea total o parcialmente, con fines de entrenamiento de cualquier clase de inteligencia artificial, minería de datos y textos incluyendo, pero no limitado a la generación de publicación de obras derivadas o contenidos basados total o parcialmente en esta publicación y cualquiera de sus partes pertenecientes a la Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Dependencia Universitaria que corresponden. Las violaciones a estas disposiciones constituyen una infracción en materia de comercio, derechos de autor y un delito.

Impreso en México
Todos los derechos reservados
© Copyright 2025
planta.fcb@gmail.com

Contenido

	Pág.
Editorial	3

Personajes Dra. Lynn Margulis	4
---	---

Divulgación científica

Vainilla, la Orquídea que Nació del Amor y Floreció con la Cultura	7
--	---

Licófitas, Joyas Ocultas del Mundo Vegetal	11
---	----

Agaves en México: Una planta Milenaria y Patrimonio Cultural	31
---	----

Fitohormonas	36
--------------	----

Solo Ciencia

Efecto de Florus® y Boost® en la Productividad y Calidad del Cultivo de Naranja Valencia	40
--	----

<i>Selaginella</i> subg. <i>Lepidophyllae</i> , Descripción y Clave para su Identificación	46
--	----

Efecto de los Bioestimulantes Radix® y Optimus® a Base de Microalgas sobre el Rendimiento del Cultivo de Caña de Azúcar	53
---	----

Morfoanatomía foliar del huizache <i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wright y Arn.	59
--	----

Evaluación Agronómica de Florus® y Boost® en la Productividad y Calidad Fitosanitaria de Papa-ya (<i>Carica papaya</i> L.)	66
---	----

Imagen portada: flor de la planta de vainilla. Fotografía de Santiago Méndez Pérez.

Imagen contraportada: flores de *Erythrostemon mexicanus*. Fotografía de Ángel Miguel Narváez Rodríguez.

La Importancia de los Congresos de Sociedades Académicas o Profesionales en la Formación de los Estudiantes

Al participar como asistente a algún congreso se tiene acceso de primera mano tanto a material exclusivo que muchas veces no está disponible por otros canales como a los últimos avances y tendencias del área, lo que permite actualizar nuestro conocimiento y puede inspirar nuevas ideas o generar nuevas líneas de trabajo o investigación.

Además, estos foros dan la oportunidad de interactuar directamente con ponentes expertos en el área, permitiendo el conocerlos, preguntarles y debatir con ellos y otros asistentes, lo que resulta en la posibilidad de conocer colegas, ampliar nuestra red de contactos profesionales, establecer nuevos vínculos y por qué no, abrir oportunidades laborales o académicas. Por si fuera poco, muchos congresos dan certificados de participación, con los que se avala la asistencia y el aprendizaje de los asistentes y estos tienen valor en nuestra formación continua.

En cuanto a los ponentes, los congresos les ofrecen un canal efectivo para divulgar avances antes de su publicación formal y su participación por un lado les da visibilidad y prestigio profesional dentro de la comunidad académica y por otro les permite mejorar sus habilidades de oratoria, síntesis y capacidad para presentar ideas de forma clara y atractiva.

Además, les permite que su presentación reciba una retroalimentación especializada gracias a las opiniones, críticas constructivas y sugerencias de colegas, lo cual enriquece su trabajo o investigación y muchas veces les brinda la oportunidad de publicarlo en memorias o revistas asociadas.

Pero ¿qué ventajas ofrecen los congresos para un profesional que ya publica en revistas reconocidas de alto impacto, que ya posee cierto renombre y pertenece a una red de profesionales con las que tiene contacto en tiempo real gracias a plataformas, redes académicas o proyectos colaborativos?

En este caso pareciera que algunas ventajas tradicionales pierden peso o se vuelven redundantes, sin embargo, su participación puede tener un valor estratégico si quiere consolidar su imagen en una nueva región geográfica, si desea influir en políticas científicas o ser parte de comités editoriales o de evaluación o está buscando visibilidad institucional para su grupo de investigación.

También al participar en estos foros puede poner a prueba ideas nuevas en entornos menos formales o exponer a sus estudiantes y colaboradores más jóvenes a una retroalimentación especializada mientras actúa como observador crítico. Finalmente, los congresos pueden ofrecer contactos inesperados con actores fuera de su círculo habitual como empresas, instituciones internacionales u organizaciones no académicas y son espacios útiles para identificar nuevos talentos o reclutar doctorandos o posdoctorales. Así, aunque la asistencia a congresos no sea esencial para su desarrollo personal inmediato, puede resultar muy útil si se enfoca estratégicamente en objetivos más allá de los logros individuales, como son la visibilidad institucional, la expansión de redes, la consolidación de liderazgo académico y el reclutamiento.

Así pues, podemos concluir que la asistencia a congresos ofrece ventajas para todas las personas relacionadas con el área específica de la que se trate, ya que son espacios de crecimiento profesional, formación continua, construcción de comunidades, proyección institucional y reclutamiento de talentos dentro de ese campo.



Dra. Lynn Margulis (1938—2011)
Pasión por la Biología

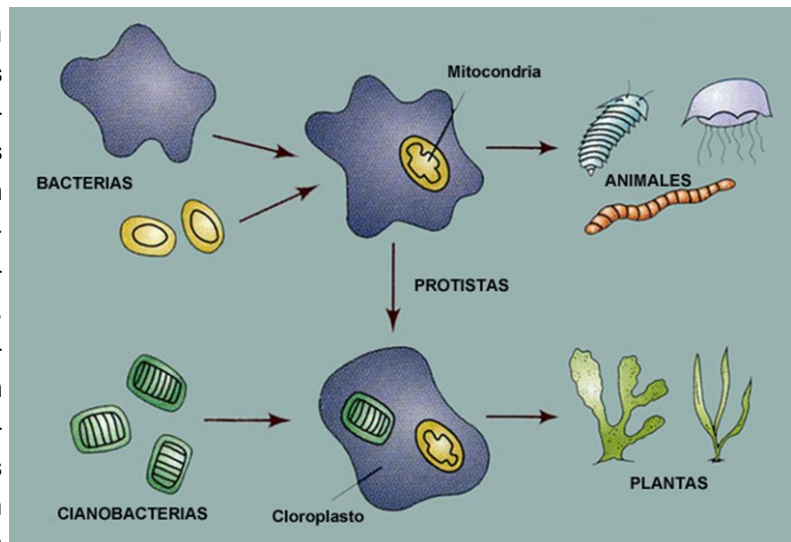
Lynn Margulis fue una de las figuras más influyentes en la Biología evolutiva del siglo XX. Nacida en Chicago, Illinois, con el nombre de Lynn Petra Alexander, mostró desde temprana edad un interés excepcional por las ciencias naturales. A los dieciséis años ingresó a la Universidad de Chicago, donde obtuvo su primer grado en 1957. Posteriormente, completó una maestría en zoología y genética en la Universidad de Wisconsin-Madison en 1960, y más tarde alcanzó el doctorado en genética en la Universidad de California, Berkeley en 1965. Esta sólida formación académica cimentó la base para una carrera científica que desafiaría paradigmas y transformaría la comprensión moderna de la vida.

Tras obtener su doctorado, Margulis inició su trayectoria docente en la Universidad de Brandeis en Massachusetts y poco después en la Universidad de Boston, donde desarrolló una parte fundamental de su labor académica entre 1966 y 1988. Posteriormente se incorporó a la Universidad de Massachusetts Amherst, institución en la que se consolidó como profesora distinguida en los departamentos de Botánica, Biología y Geociencias. Su vocación por la enseñanza fue paralela a una prolífica actividad investigadora y de divulgación, en la cual siempre mantuvo un compromiso con la rigurosidad científica y con el impulso a nuevas generaciones de biólogos.

El aporte más trascendental de Margulis fue la formulación y defensa de la teoría endosimbiótica seriada. A través de ella propuso que las células eucariotas, surgieron a partir de asociaciones simbióticas entre diferentes organismos procariotas. En particular, postuló que las mitocondrias y los cloroplastos fueron originalmente bacterias libres que, al ser incorporadas en otras células, establecieron una relación de mutua dependencia que dio origen a nuevas formas de vida más complejas. Su artículo de 1967, Sobre el origen de las células mitóticas, fue inicialmente rechazado por numerosas revistas científicas, pero al ser finalmente publicado marcó un hito en la Biología. Décadas de acumulación de evidencia experimental confirmaron la validez de su propuesta, que hoy constituye un pilar de la Biología celular y evolutiva.

Además de la teoría endosimbiótica, Margulis realizó importantes aportaciones en otros campos. Junto con el químico James Lovelock, desarrolló una versión científica de la Hipótesis Gaia, la cual sostiene

que la Tierra funciona como un sistema autorregulado en el que los organismos vivos interactúan con el entorno inorgánico para mantener condiciones favorables a la vida. Asimismo, en colaboración con Karlene V. Schwartz, introdujo una clasificación biológica más amplia y comprensiva en su obra *Cinco reinos* (1982), la cual influyó en la enseñanza de la Biología durante décadas. Su producción intelectual fue abundante y diversa, incluyendo títulos como *El Origen de las células eucarióticas* (1970), *Simbiosis en la evolución celular* (1981) y, junto con su hijo Dorion Sagan, publicaron varios volúmenes de divulgación científica entre los que destaca *Microcosmos* (1986).



Representación de la teoría endosimbiótica

El reconocimiento internacional a su trayectoria fue amplio. En 1983 fue elegida miembro de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos, y en 1999 recibió la Medalla Nacional de Ciencia, otorgada por el presidente Bill Clinton, en reconocimiento a sus contribuciones a la Biología. Entre otros galardones, destacan el Premio William Procter para Logro científico y Medalla Darwin-Wallace de la Sociedad Linneana de Londres, ambos otorgados en 1999 y 2008, respectivamente. Estos reconocimientos reflejan el impacto profundo y duradero de sus aportes científicos.

A pesar de la trascendencia de sus descubrimientos, Margulis no estuvo exenta de controversias. Su insistencia en destacar la simbiosis como un motor central de la evolución contrastaba con el enfoque predominante del neodarwinismo, que priorizaba la competencia y la mutación genética. Este posicionamiento crítico la llevó a intensos debates con figuras como Richard Dawkins y George C. Williams. Sin embargo, lejos de restarle legitimidad, su actitud crítica evidenció la necesidad de enriquecer el discurso evolutivo con perspectivas más inclusivas sobre cooperación y mutualismo biológico.

Lynn Margulis falleció el 22 de noviembre de 2011 en su casa de Amherst, Massachusetts, cinco días después de sufrir un accidente cerebrovascular hemorrágico. Estaba profundizando en el estudio de



La Dra. Margulis en su trabajo de laboratorio

diferentes espiroquetas y su posible protagonismo en procesos simbiogénicos. Continuaba ocupada en su intento de demostrar que el origen de los flagelos de las células eucarióticas se hallaba en las espiroquetas, defendiendo la importancia de los microorganismos en los procesos evolutivos y la simbiosis como fuerza evolutiva de la vida.

Su legado permanece vigente

no solo en la confirmación empírica de la teoría endosimbiótica, sino también en la forma en que transformó la visión científica de la vida de un escenario de competencia implacable hacia uno en el que la cooperación entre organismos desempeña un papel esencial en la innovación y en la continuidad de los sistemas biológicos. Su obra no solo redefinió aspectos fundamentales de la biología,



sino que también inspiró un cambio filosófico profundo en nuestra comprensión de la evolución y de la vida en la Tierra.

Curiosidades de su vida y obra

- Amor por las bacterias. Desde joven se sintió fascinada por las bacterias y su potencial para explicar el origen de las células más complejas.
- Cuestionamiento de lo establecido. Se caracterizó por ser una investigadora rebelde y una crítica de la visión puramente competitiva de la vida, y a menudo defendió sus ideas con gran convicción.
- Influencia en la ecología. Su enfoque en la cooperación y la simbiosis ayudó a dar forma a la ecología moderna, incluso impulsando el concepto del planeta como un sistema vivo y autorregulado.

Fuentes de información

- Jablonka E. (2013). Lynn Margulis (1938-2011). *Current Biology* 23(3): R107-R110. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.12.016>
- Lovelock J.E., Margulis L. (1974). Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: The Gaia hypothesis. *Tellus* 26(1-22): 2-10. <https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1974.tb01946.x>
- Margulis L. (1970). *Origin of eukaryotic cells*. Yale University Press.
- Margulis L. (1993). *Symbiosis in cell evolution: Microbial communities in the Archean and Proterozoic eons* (2nd ed.). W. H. Freeman (publicado en 1981)
- Margulis L., Sagan D. (2000). *What is life?*. University of California Press.
- Margulis L., Schwartz K.V. (1998). *Five kingdoms: An illustrated guide to the phyla of life on earth* (3rd ed.). W.H. Freeman.
- National Science Foundation. (1999). President Clinton awards national medals of science and technology. https://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=103055
- Sagan L. [Margulis L.]. (2017). On the origin of mitosing cells. *Journal of Theoretical Biology* 434: 2-11. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2017.02.015> (publicado en 1967)
- Sapp J. (2012). Obituary: Lynn Margulis (1938-2011). *Nature* 481(7380): 37. <https://doi.org/10.1038/481037a>
- https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Lynn_Margulis&oldid=168918641

Vainilla, la Orquídea que Nació del Amor y Floreció con la Cultura

Víctor Manuel Almaraz Valle¹, Rosaura Méndez Pérez²,
Carlos Eduardo Aguilar Castillo^{1*} e Ingrid Lorena Santiago Cruz¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos, Posgrado en Fitosanidad-Entomología y Acarología.
Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco 56264, Estado de México.

²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos, Posgrado en Fitosanidad-Fitopatología.
Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco 56264, Estado de México.

*Autor para correspondencia: aguilar.carlos@colpos.mx

Resumen

La vainilla es mucho más que un ingrediente en la repostería. Es una planta aromática del grupo de las orquídeas con una historia profunda, un origen sagrado y una conexión cultural ancestral. En este documento exploraremos la leyenda que explica el nacimiento de esta orquídea de acuerdo con la cultura totonaca, la diversidad biológica, las formas tradicionales y modernas de obtener el aroma, así como los retos que enfrenta actualmente su producción.

Palabras clave: orquídea, vainilla, cultura, tradición.

Abstract

The vanilla is much more than just a baking ingredient. It is an aromatic plant from the orchid family, which has a rich history, sacred origins, and a Deep cultural connection. In this article, we will explore the legend that tells the origin of this orchid according to the Totonac culture, its biological diversity, traditional and modern methods of extracting its aroma, as well as the challenges currently facing its production.

Keywords: orchid, vanilla, culture, tradition.

¿Qué es la vainilla y de dónde proviene?

La planta de la cual se obtiene la vainilla (*Vainilla planifolia*) es una orquídea tropical perteneciente al género *Vanilla* (Figura 1), es una especie muy apreciada y cultivada por su aroma agradable e intenso.



Figura 1. *Vainilla planifolia*, orquídea originaria de México. Fotografía: Santiago Méndez Pérez.

Su origen se sitúa en las regiones húmedas del este de México, particularmente en la región cultural del Totonacapan, en Veracruz, que también abarca el norte de Puebla y parte de Hidalgo. Fue esta zona donde los pueblos nativos de la cultura Totonaca domesticaron por primera vez esta orquídea, desarrollaron técnicas únicas de cultivo y curado artesanal para el aprovechamiento de la “vaina” (Rodríguez-Deméneghi *et al.*, 2023). Actualmente, el cultivo de vainilla se ha extendido a diversos países como Ma-

dagascar, Indonesia y Tahití, pero México conserva el reconocimiento histórico y cultural de ser la cuna del origen de esta planta.

La leyenda totonaca, el nacimiento sagrado de la vainilla

En la cultura Totonaca, se conserva una de las leyendas más bellas del México antiguo, escrita sobre un muro de la plaza de Papantla (Figura 2). Es la historia de la princesa Tzacopontziza, consagrada a la diosa Tonacayohua, y de Zkatan-Oxga, un joven príncipe. Al enamorarse perdidamente uno del otro, ambos huyeron al bosque para vivir su amor prohibido, pero al ser capturados, fueron sacrificados por romper las leyes divinas de los Dioses. Del lugar donde cayó la sangre de los enamorados brotó una planta desconocida: una enredadera de flores pálidas que, con el tiempo, dio frutos aromáticos. Así, según la tradición totonaca, nació la vainilla. Esta leyenda no es solo un relato poético, sino que refleja el profundo respeto que la cultura totonaca tiene por la naturaleza, y cómo su cosmovisión asocia la flora con la espiritualidad, el sacrificio y la continuidad de la vida.

Vainilla y la identidad totonaca

Para el pueblo Totonaco, la vainilla no es solo un producto agrícola, sino una herencia cultural viva. A lo largo del tiempo, las técnicas tradicionales de cultivo, curado y preservación han sido transmitidas de generación en generación, por lo que, antes de sembrar esta orquídea, se realizan rituales previos y los cantos que acompañan el trabajo agrícola reflejan una relación estrecha y sagrada entre el ser humano y la planta. Al tratarse de una planta de cultivo tradicio-



Figura 2. Leyenda Totonaca de la vainilla, escrita por José de Jesús Núñez y Domínguez. Fotografía: Elvira Lizet Cisneros Sandoval

nal y ancestral, la vainilla promueve y contribuye a la conservación de la biodiversidad, como lo demuestran los sistemas agroforestales en los que se asocia con cacao y otros árboles nativos de la selva tropical (López Juárez *et al.*, 2019).

¿Existen otras vainillas?

La vainilla (*V. planifolia*) no es la única especie del género *Vanilla*, el cual incluye aproximadamente 100 especies distribuidas en regiones tropicales de todo el mundo. Entre las especies más conocidas, además de *V. planifolia*, se encuentran *V. tahitensis*, que se distingue por poseer aroma suave con notas frutales,

y *V. pompona*, cuyas vainas son más robustas y comúnmente empleadas en la industria de la perfumería. También se incluyen especies nativas de México y Centroamérica como *V. odorata* y *V. inodora*, orquídeas con escaso valor comercial. A pesar de la diversidad de especies, *V. planifolia* es la orquídea más apreciada en el mundo debido a su alto contenido de vainillina, el compuesto responsable del aroma característico, su complejo perfil aromático con más de 200 compuestos volátiles, y su notable adaptabilidad al cultivo intensivo (Gallage y Moller, 2018).

El arte del curado tradicional de la vainilla

El curado tradicional de la vainilla es un proceso minucioso que transforma unas vainas verdes e inodoras en una de las esencias más valoradas del mundo (Figura 3). Este procedimiento consta de cuatro etapas clave. La primera es la “matanza”, en donde las vainas recién cosechadas se escaldan en agua caliente para detener la actividad celular y activar las enzimas internas, le sigue el “sudado”, en donde las vainas se fermentan envueltas en mantas calientes durante varios días, facilitando la transformación enzimática de precursores químicos en compuestos aromáticos. Posteriormente, se realiza el “secado”, mediante una exposición solar controlada durante varias semanas, reduciendo la humedad en las vainas y preservando los aromas. Finalmente, las vainas pasan al “acondicionamiento”, etapa en la que se almacenan en cajas de madera durante uno a tres meses, para permitir el desarrollo pleno del perfil aromático (Peña-Barrientos *et al.*, 2022). Durante este proceso, la “glucovanilina” presente originalmente en las vainas se convierte en vainillina libre, responsable del característico aroma de la vainilla natural.

La vainilla y su peculiar aroma

El aroma de la vainilla es el resultado de un complejo proceso de curado e interacción entre diversas moléculas volátiles. Durante este proceso, enzimas como la B-glucosidas actúan sobre precursores como la



Figura 3. Vainas verdes o inmaduras de la orquídea *V. planifolia*, materia prima para la obtención de vainilla.
Fotografía: Santiago Méndez Pérez

glucovanilina, liberando vainillina y otros compuestos responsables del perfil aromático característico. Si bien la vainillina es el principal compuesto aromático, no es el único presente en las vainas. También se encuentran el ácido vainílico, el ácido p-hidroxibenzoico, distintos aldehídos aromáticos, alcoholes y ésteres volátiles. La sinergia entre estos componentes da lugar a un aroma cálido, dulce y especiado, altamente valorado en la gastronomía, la perfumería y la industria farmacéutica.

Retos en la producción actual

A pesar del gran valor cultural y comercial de la vainilla, menos del 1% de la vainillina que se consume en el mundo proviene de fuentes naturales. La mayor parte se produce mediante métodos alternativos. Uno de los más comunes es la síntesis química, utilizando compuestos como lignina (derivada de la madera) o guaiacol (derivado del petróleo), lo que permite una producción económica, aunque con un perfil aromático más simple. Otra vía es la producción de vainillina biotecnológica, también conocida en Europa como “bio-vainillina”, la cual se obtiene mediante fermentación utilizando microorganismos genéticamente modificados que transforman sustratos

como la glucosa, el eugenol o el ácido ferúlico en vainillina (Santos *et al.*, 2024).

En la actualidad el cultivo de vainilla enfrenta desafíos significativos. Uno de los principales es la dependencia de la polinización manual fuera de México, ya que en otros países no están presentes las abejas del género *Melipona*, polinizadoras naturales de las flores de vainilla (Figura 4). Esta limitación incrementa los costos de producción y exige mano de obra especializada. Aunado a esto, la baja diversidad genética de los clones cultivados de *V. planifolia* hace que las plantas sean vulnerables a enfermedades, como la marchitez causada por *Fusarium oxysporum*, lo que compromete y pone en riesgo la estabilidad del cultivo. A estos desafíos se suman el robo de vainas (impulsado por su alto valor comercial) y los efectos del cambio climático, que alteran los ciclos de floración y reducen el rendimiento de las plantaciones.

Conclusiones

La vainilla no es solo una planta aromática de gran valor económico, sino también un símbolo de la profunda conexión entre la cultura indígena de México y la historia milenaria de esta orquídea. Su delicado proceso de cultivo y transformación representa el testimonio vivo del conocimiento ancestral del pueblo Totonaca, quienes han preservado esta tradición a lo largo de los siglos. En un mundo que busca reconectarse con lo natural y auténtico, la vainilla mexicana ofrece mucho más que sabor, nos entrega una lección de identidad, tradiciones, biodiversidad y sabiduría cultural enraizada en nuestras tradiciones.

Referencias

Gallage N.J., Moller B.L. (2018). *Vanilla*: The most popular flavour. In N. J. Gallage & B. L. Møller (Eds.), *Vanillin: Biosynthesis, Molecular Biology, and Biotechnology*. 3-24). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67903-7_1.

López J.S.A., Romero E.H., Cerdán C.C.R., Ortiz C.G.C., Reyes López. D. (2019). Asociación entre cultivos de cacao y vainilla en un sistema agroforestal. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. <https://doi.org/10.56369/>



Figura 4. Flor de vainilla, cuya polinización natural depende de abejas del género *Melipona*.
Fotografía: Santiago Méndez Pérez.

tsaes.2622.

Peña-Barrientos A., Perea-Flores M.J., Martínez-Gutiérrez H., Patrón-Soberano A., González-Jiménez F.E., Vega-Cuellar M.A., Dávila-Ortiz G. (2022). Physicochemical, microbiological, and structural relationship of vanilla beans during traditional curing process. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2022.100445>.

Rodríguez-Deméneghi M.V., Aguilar-Rivera N., Gheno-Heredia Y.A., Armas-Silva A.A. (2023). Vanilla cultivation in Mexico: Typology, characteristics, and sustainability strategies. *Scientia Agropecuaria*. [sci.agropecu.2023.009](https://doi.org/10.1016/j.sci.agropecu.2023.009).

Santos L.D.F., Lautru S., Pernodet J.L. (2024). Genetic engineering approaches for the microbial production of vanillin. *Biomolecules* 14. <https://doi.org/10.3390/biom14111413>.

Licófitas, Joyas Ocultas del Mundo Vegetal

Adrián González-Martínez^{1,2*} y Valeria Barra-Suárez²

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas - Unidad B, Laboratorio de Biología de la Conservación y Desarrollo Sostenible - Laboratorio de Paleobiología. Ave. De los Rectores s/n, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L. México. 66455.

²Flora de Nuevo León (@floradenuevoleon)

*Autor para correspondencia: adrian.gonzalezmtz@uanl.edu.mx

Resumen

Las licófitas son uno de los grupos vegetales más antiguos, pero menos conocidos de los que actualmente habitan nuestro planeta. Se estima que aparecieron hace aproximadamente 410 millones de años, pero tuvieron su mayor esplendor entre los periodos Devónico y Carbonífero (entre 387 y 299 millones de años atrás), cuando desarrollaron las primeras formas arborescentes y bosques que se han encontrado en el registro fósil. La debacle ecológica sucedida a finales del Pérmico dio lugar a la desaparición de estos primeros bosques, pero las licófitas se han perpetuado hasta nuestros días como herbáceas pequeñas presentes en climas tropicales, templados, alpinos, desérticos y acuáticos. Se clasifican en tres órdenes monotípicos: Lycopodiales, Isoëtales y Selaginellales con las respectivas familias Lycopodiaceae (con 17 géneros y 497 especies), Isoëtaceae (con un género y 238 especies) y Selaginellaceae (con un género y 762 especies). Son plantas que carecen de flores y semillas, ya que su reproducción es por medio de esporas. Las Lycopodiales son homospóricas (con un solo tipo de espora donde se producen ambos gametofitos), mientras que las Isoëtales y Selaginellales son heterospóricas (con dos tipos de esporas, denominadas comúnmente como femeninas y masculinas, de forma similar a las Fanerógamas). Se estima que en México se distribuyen unas 111 especies en los géneros *Diphasiastrum* (1), *Huperzia* (2), *Lycopodiella* (1), *Lycopodium* (1), *Palhinhaea* (1), *Phlegmariurus* (14), *Pseudolycopodiella* (1), *Spinulum* (1), *Isoetes* (9) y *Selaginella* (80).

Palabras Clave

Licófitas, Lycopodiales, Isoëtales, Selaginellales, heterosporia, Lepidodendrales

Abstract

Lycophytes are one of the oldest but least known plant groups currently inhabiting our planet. It is estimated that they first appeared around 410 million years ago, but they had their greatest splendor during the Devonian and Carboniferous periods (between 387 and 299 million years ago), when they developed the first arborescent forms and forests that have been found in the fossil record. The ecological debacle that occurred at the end of the Permian led to the disappearance of these first forests, but lycophytes have persisted to this day as small herbaceous plants present in tropical, temperate, alpine, desert, and aquatic habitats. They are classified into three monotypic orders: Lycopodiales, Isoëtales, and Selaginellales, with the respective families Lycopodiaceae (17 genera and 497 species), Isoëtaceae (with one genus and 238 species), and Selaginellaceae (with one genus and 762 species). These plants lack flowers and seeds, as their reproduction is by means of spores. Lycopodiales are homosporous (with a single type of spore where both gametes are produced), while Isoëtales and Selaginellales are heterosporous (with two types of spores, commonly known as female and male, like the angiosperms). It is estimated that in Mexico, about 111 species are distributed in the genera *Diphasiastrum* (1), *Huperzia* (2), *Lycopodiella* (1), *Lycopodium* (1), *Palhinhaea* (1), *Phlegmariurus* (14), *Pseudolycopodiella* (1), *Spinulum* (1), *Isoetes* (9) y *Selaginella* (80).

Keywords

Lycophytes, Lycopodiales, Isoëtales, Selaginellales, heterospority, Lepidodendrales

Introducción

El planeta Tierra es hogar de una inmensa variedad de formas de vida como los dinámicos animales, los omnipresentes hongos, las diminutas bacterias, las indestructibles arqueas, los fundamentales protozoarios; pero un reino destaca por su belleza, ubicuidad, e importancia: el reino de las plantas.

Del mundo vegetal obtenemos, entre otras cosas, alimento, medicina, refugio y materiales de construcción, vestimenta, energía y combustible, fragancia, conocimiento a través del papel, protección, defensa y bienestar.

De acuerdo con una revisión de literatura realizada por Hall y Knuth (2019), con sólo ver y estar rodeado de plantas se puede obtener una disminución en el estrés, ansiedad y depresión, mitigación de déficit de atención, estrés postraumático y demencia, además de una notoria mejora en la retención de memoria, autoestima, felicidad y satisfacción.

Comúnmente se relaciona el concepto de las plantas con organismos de exuberante follaje, flores de todos colores y formas, o con gigantescos árboles que cubren a los bosques tropicales lluviosos y los interminables bosques boreales cubiertos de nieve. Pero perdidas entre las rocas de los acantilados, creciendo al fondo de charcos y lagos someros, colgando de las ramas de árboles y arbustos, o bien, creciendo debajo de éstos, vive un grupo de plantas de formas simples, sin flores ni semillas que, en algún momento, crearon los primeros bosques del planeta.

Para hablar de estas enigmáticas plantas, primero tenemos que remontarnos al pasado remoto; tan remoto que muchas de las plantas a las que nos referiremos llevan extintas millones de años. Esto se señala, de forma tradicional, con el símbolo de la daga u obelisco (†), como en el caso de †*Leclercqia scolopendra*.

Historia de las Licófitas

A partir del grupo de las algas multicelulares

(Charophyta), surgen las plantas terrestres o *embriófitas* (Embryophyta), que comenzaron a conquistar los antiguos y desolados continentes hace aproximadamente 515 millones de años (Morris *et al.*, 2018), a finales del periodo Cámbrico (el primer periodo de la era Paleozoica) y comenzaron un largo proceso de diferenciación que continúa hasta nuestros días.

Por un lado, surge un grupo de plantas que carecen de tejidos vasculares (encargados del transporte de agua y nutrientes) y de órganos vegetales desarrollados el cual se conoce bajo el nombre de *briófitas*, que incluye a los antoceros (phylum Anthocerotophyta), las hepáticas (Marchantiophyta) y a los musgos (Bryophyta), donde la alternancia de generaciones, o el ciclo entre las fases haploides y diploides de un organismo, es dominada por el gametofito, el cual es la generación que crea los gametangios sexuales (arquegonios y anteridios).

Por el otro, las plantas que sí poseen tejidos vasculares, órganos bien diferenciados como los tallos y hojas y una dominancia de la fase esporófitica son agrupadas dentro del phylum Tracheophyta, también conocidas como plantas vasculares o *traqueófitas*. Aparecieron hace aproximadamente 450 millones de años, en los límites de los periodos Ordovícico y Silúrico (Morris *et al.*, 2018).

Hacia finales del Silúrico las plantas vasculares comenzaron a desarrollar características más complejas, particularmente en sus esporangios, los órganos donde se forman las esporas. Los primeros grupos que hicieron acto de presencia fueron los de la clase †Rhyniopsida, con los géneros †Rhynia y †Cooksonia (Figura 1). Estos son algunos de los representantes más antiguos presentes en el registro fósil, con ejemplares datados hasta 433 millones de años de antigüedad. Eran plantas muy simples, con cortos tallos dicotómicos de unos pocos centímetros de altura, sin hojas ni raíces.

Las zosterófilas (clase †Zosterophylloids) aparecen hace 420 millones de años, a principios del periodo

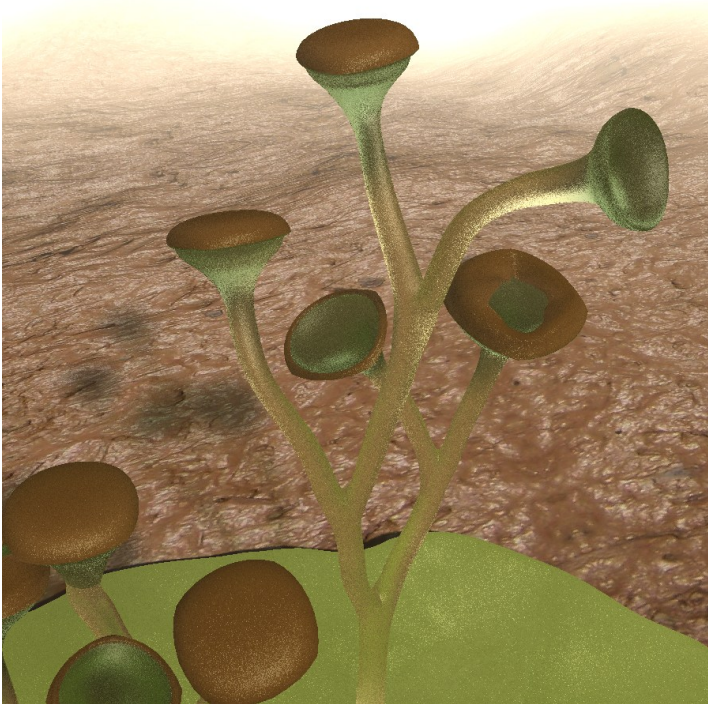


Figura 1. *Cooksonia pertoni*, reconstrucción artística de Smith609 (2008).

Devónico, y se caracterizaron por poseer enaciones (proyecciones con forma de espina), que se consideran los primordios de las hojas. Además, se cree que sus tallos se desenrollaban de forma similar a la de los helechos actuales, en un proceso denominado vernación circinada. Algunos de los géneros más representativos de este grupo son †*Zosterophyllum* (Figura 2), †*Nothia*, †*Anisophyton* y †*Sawdonia* (Gensel, 1992; Steward y Rothwell, 1993).



Figura 2. *Zosterophyllum*, reconstrucción artística de Stefano (2016).

Un poco más tarde, hace aproximadamente 410 millones de años (Morris *et al.*, 2018), surge el grupo de las licófitas (clase Lycopodiopsida). Aunque algunas clasificaciones incluyen a las zosterófilas dentro de éstas, generalmente se les separa por la presencia de hojas verdaderas simples en lugar de enaciones (Figura 3), y por la producción de los esporangios terminales en lugar de en tallos esporangiales independientes (Kenrick y Crane, 1997). A pesar de ello, el género fósil de licófitas †*Asteroxylon* presenta formas transicionales, como hojas no totalmente vascularizadas y carencia de esporófilas, respectivamente (Gensel y Berry, 2001).

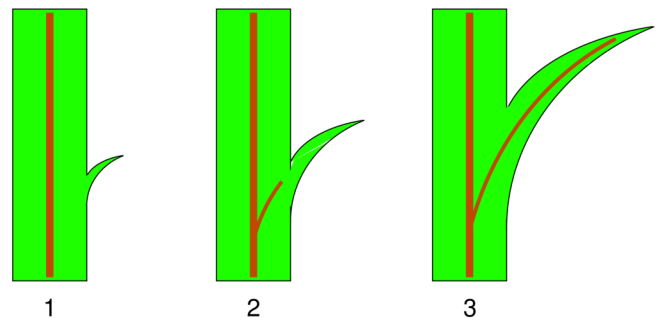


Figura 3. Progresión de las enaciones *Sawdonia* (1), a un estado transicional en *Asteroxylon* (2), para finalmente desarrollar hojas micrófilas en *Leclercqia* (3) (Peter Coxhead, 2019).

A finales del periodo Silúrico y principios del Devónico aparecieron dos géneros cuyos fósiles muestran una innovación, la vascularidad simple en sus hojas con un solo haz vascular al centro que se denominan micrófilas, acomodadas en espiral alrededor de los tallos. †*Baragwanathia* (Figura 4) en lo que actualmente es Norteamérica, Australia, Asia y Europa central, con hojas acintadas que presentaba sus esporangios nacidos en las axilas de las hojas; y †*Drepanophycus* en el norte de Europa, Canadá y África, con hojas parecidas a espinas con los esporangios dispuestos en la axila de la cara superior de hojas especializadas, denominadas esporófilas. Ambos géneros, entre otros, han sido asignados al orden †Drepanophycales (Spencer *et al.*, 2020).



Figura 4. *Baragwanathia*, encontrado en Victoria, Australia (Canley, 2012).

La época de mayor esplendor de las licófitas comenzó más o menos a mediados del Devónico, hace 387 millones de años. El orden †Protepidodendrales, ampliamente distribuido, abundante y diverso en aquellos tiempos, se caracterizó por formas foliares más elaboradas con dos, tres, cinco, hasta nueve lóbulos en sus hojas, las cuales se arreglaban de forma helicoidal alrededor de los tallos. Además, sus esporangios eran globosos o ligeramente elongados (no reniformes como en las zosterófilas y †Drepanophycales) y nacían en la superficie adaxial (inferior) de las hojas vegetativas (Gensel y Berry, 2001; Spencer *et al.*, 2020).

De acuerdo con Gensel y Berry (2001), en la familia †Protepidodendraceae se conocen géneros como †*Leclercqia* (Figura 5), †*Minarodendron* y †*Protepidodendron*, caracterizada por sus hojas de

hasta nueve lóbulos. En †Haskinsiaceae, los géneros †*Haskinsia* y †*Artschaliphyton*, cuyas hojas eran pecioladas y lanceoladas a sagitadas. Finalmente, en la familia †*Archaeosigillariaceae*, cuya relación con las otras †Protepidodendrales no se ha aclarado del todo, incluye a †*Archaeosigillaria* y a †*Gilboaphyton*, con hojas laminares y prominentemente dentadas.

Aunque la mayoría de las plantas en este orden eran de talla pequeña, el Devónico tardío vio la aparición de nuevas innovaciones como la heterosporia (producción de dos tipos de esporas, una “masculina” o microspora y otra “femenina” o megaspora) en †*Yuguangia*, además de la producción de crecimiento secundario, similar a la madera, en géneros como †*Longostachys*, con plantas que podían alcanzar hasta 1.5 m de alto, †*Wuxia* y †*Lilingotrobus*. Este último es considerado un precursor de los Isoëtales, que veremos más adelante. Por otro lado, géneros como †*Lepidostrobus*, †*Minostrobus* y †*Sublepidodendron* se han identificado como homospóricos, con un solo tipo de espora (Gensel y Berry, 2001; Garrienne *et al.*, 2018).

El primero de los grupos de licófitas aún existentes hasta nuestros días apareció, de acuerdo con Judd *et al.* (2015), hace aproximadamente 380 millones de



Figura 5. *Leclercqia scolopendra*, fósil (izquierda) y reconstrucción artística (derecha) (Benca, 2014).

años. El orden monotípico Lycopodiales será visto más adelante en el trabajo.

Finalmente, †*Protolepidodendropsis* es uno de los primeros árboles conocidos, con tallos de hasta 4 m de alto y 10 – 20 cm de ancho. Crecían muy cercanos unos de los otros, hasta 20 cm entre plantas, formando lo que podríamos considerar los primeros bosques del mundo a finales del Devónico (Berry y Marshall, 2015).

El último gran momento de apogeo de las licofitas fue el periodo Carbonífero (del latín *carbō*, “carbón”, y *ferō* “poseedor de”), caracterizado por los estratos de roca con abundancia de depósitos de carbón, un mineral nuevo en la Tierra hasta ese momento, presentes entre 359 y 299 millones de años (Figura 6).

El orden †Lepidodendrales, cuyo nombre se puede traducir como “árboles con escamas” debido a las cicatrices escumiformes de las hojas visibles en los fósiles, apareció en este periodo. Estaba compuesto por plantas de porte arbóreo con troncos de hasta

30 m de alto y 1 m de diámetro y con ramificación dicotómica con ramas de distinta longitud, con xilema secundario (pero no floema secundario), un córtex bien desarrollado y raíces robustas. Sus hojas micrófilas eran lineales, de algunos pocos centímetros hasta 2 m de largo, y algunas poseían lígulas. Sus estructuras reproductivas son variables, pero en general se considera que eran heterospóricas, con microgametofitos similares a los de *Selaginella* y megagametofitos similares a los de *Isoetes*, posiblemente sus parientes existentes más cercanos (Thomas y Cleal, 2018; Spencer *et al.*, 2020).

Se conocen diversas familias y géneros dentro de los †Lepidodendrales, donde destaca la familia †Lepidodendraceae y el género †*Lepidodendron* (Figura 7), además de la familia †Sigillariaceae con el género †*Sigillaria* (Figura 8). Habitaban en zonas pantanosas y, al ser los primeros bosques de la historia, aprovecharon las grandes concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera del Carbonífero



Figura 6. Reconstrucción artística de los bosques de Licófitas (*Lepidodendron*, *Sigillaria*, *Chaloneria*), Helechos (*Calamites*, *Psaronius*, *Sphenophyllum*), y Pteridospermatofitas (*Lyginopteris*, *Cordaite*, *Callistophyton*) durante el Carbonífero, por Robert Evans en The Botanic Garden of Smith College. Usado con autorización.

para crecer hasta tamaños descomunales nunca vistos, y ser extremadamente prolíficas. El CO₂ capturado por estos árboles se almacenaba en sus tejidos compuestos de celulosa y lignina que, al caer a las aguas ácidas y anóxicas de los pantanos donde vivían, y sin organismos que pudieran descomponer sus biopolímeros, quedaban perfectamente conservados mientras se comprimían por sedimentos y se fosilizaban. Hasta el día de hoy, la mayor parte del carbón mineral explotado para fines industriales y energéticos proviene de estos depósitos del Carbonífero (Thomas y Cleal, 2018; Spencer *et al.*, 2020).



Figura 7. *Lepidodendron*, reconstrucción artística de Bertelink (2016).

El orden monotípico Selaginellales, el segundo de los actualmente existentes aparece en el registro fósil hace aproximadamente 340 millones de años (Banks, 2009) durante el Carbonífero temprano, aunque la datación molecular señala su aparición hace 383 millones de años atrás, a finales del Devónico (Klaus *et al.*, 2017). Algunos géneros fósiles como †*Paurodendron*, †*Selaginellidites*, y †*Selaginellites*, datadas al Carbonífero, Cretácico y Terciario respectivamente, han sido incluidos dentro del género *Selaginella* (Jermy, 1990a).



Figura 8. Árbol de escamas identificado como *Sigi-llaria* en Nueva Escocia, Canadá (Rygel, 2010).

El colapso de estos primigenios bosques tropicales habría ocurrido, de acuerdo con Falcon-Lang y Dimichele (2010), tras una serie de eventos de glaciación, sequías prolongadas y la creciente competencia con las pteridospermatofitas (grupo polifilético con características transicionales como frondas similares a las de los helechos, pero con producción de semillas) y coníferas. Estos cambios climáticos al final del Carbonífero y durante el Pérmico permitieron la adaptación de las licófitas a una mayor variedad de ambientes. La extinción masiva del Pérmico-Triásico que marcó el fin del Paleozoico y el comienzo del Mesozoico eliminó los pocos bosques de licófitas que permanecían en los trópicos, pero permitió la diversificación de otros grupos.

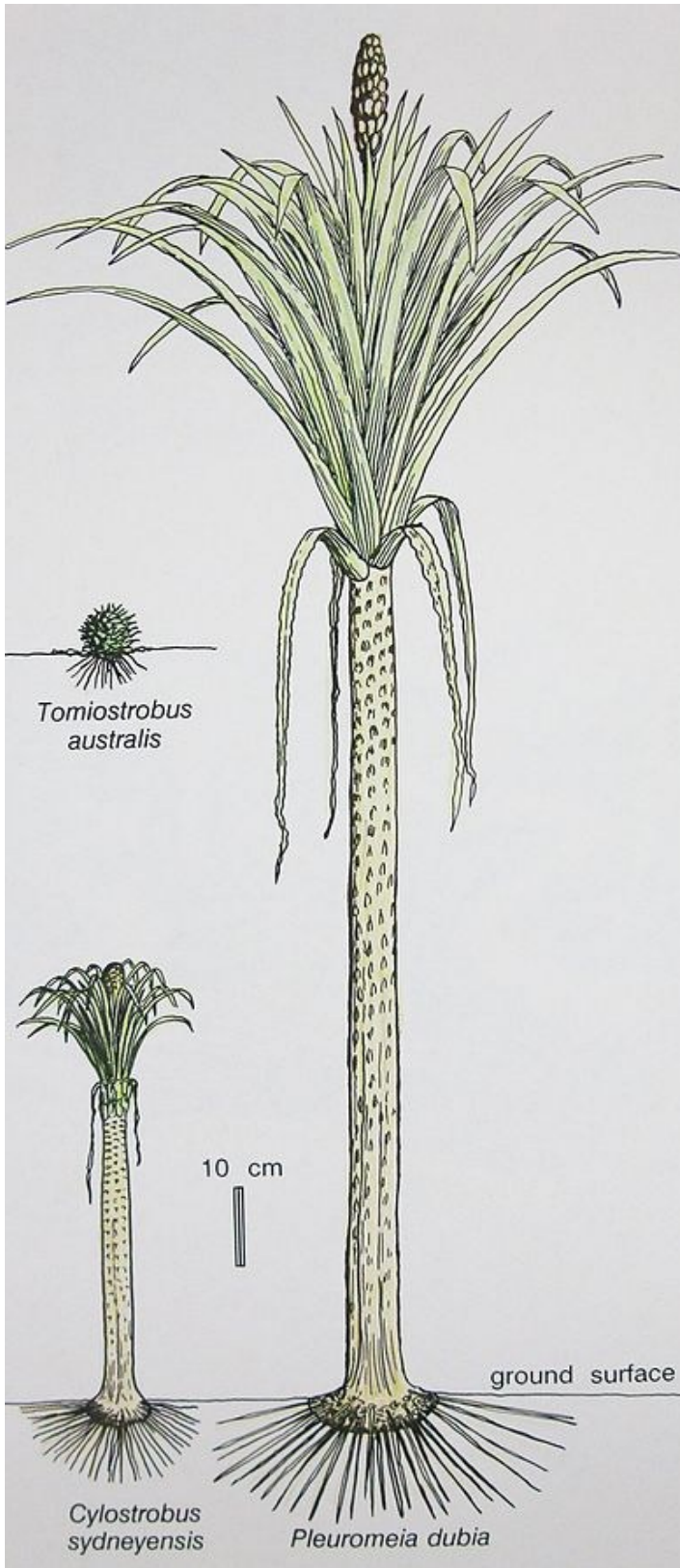


Figura 9. Reconstrucciones artísticas de *Pleuromeia dubia*, *Cylostrobus sydneyensis* y *Tomiostrobus australis* (Retallack, 2016).

El tercer y último orden monotípico de licófitas existentes, Isoëtales, apareció hace aproximadamente 250 millones de años. El género tipo no aparecería hasta mucho después, pero en el inter, †*Pleuromeia* fue el último género de licófitas con características arborescentes, llegando a medir más de 2 m de alto (Figura 9). Sus hojas eran triangulares y se acomodaban helicoidalmente alrededor del tallo (Looy *et al.*, 2021). *Isoetes* L. surgió a principios del Jurásico, y se ha mantenido prácticamente sin cambios desde entonces (Wood *et al.*, 2020; Wilkström *et al.*, 2022).

Clase Lycopodiopsida

Taxonomía y Diversidad

De acuerdo con PPG I (2016)* y Bánki *et al.* (2025), la clase Lycopodiopsida actualmente comprende tres órdenes monotípicos, tres familias, 19 géneros y cerca de 1497 especies descritas.

El clado de las licófitas es hermano del resto de las plantas vasculares, que conforman el clado de las eufilófitas (helechos y plantas con semilla). Estas relaciones, así como aquellas dentro de la clase Lycopodiopsida, se muestran en la Figura 10.

Descripción

Las especies actuales pertenecientes a la clase Lycopodiopsida son todas herbáceas, generalmente pequeñas (raramente superando 1 m de alto). Sus tallos de ramificación dicotómica presentan vascularidad de tipo protostela (con un núcleo central de xilema rodeado por floema) en la mayoría de los casos, aunque también puede ocurrir el tipo sifonostela (con un núcleo central de tejido medular rodeado por xilema y floema).

Las hojas de las licófitas, conocidas como micrófilas (en contraste con las megáfilas) son muy simples,

*(Grupo para la Filogenia de las Pteridofitas)

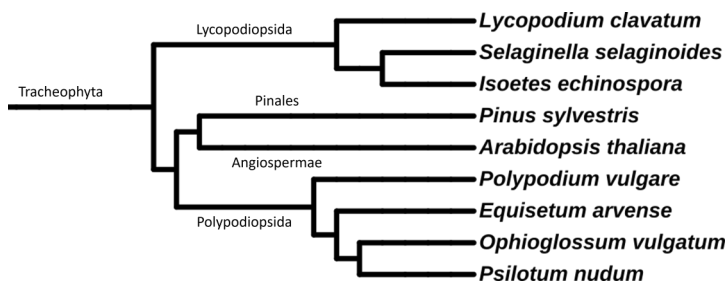


Figura 10. Relaciones filogenética entre diversos géneros representativos de plantas vasculares (Tracheophyta). Dentro de las licófitas (Lycopodiopsida), los géneros heterospóricos *Selaginella* e *Isoetes* forman un clado hermano al género homospórico *Lycopodium*. Generado en iTOL (Interactive Tree of Life) a partir de secuencias de NCBI Taxonomy.

con una sola vena de tejido vascular al centro. Por lo general acomodadas en espiral o en cuatro series, son lineares, aunque también se presentan formas ovadas a orbiculares, en color verde con algunos tonos azulados, rojizos o pardos. En Lycopodiales y Selaginellales las hojas pueden ser morfológicamente distintas, mientras que en Isoëtales todas las hojas son iguales.

Las raíces de las licófitas surgen de forma lateral en el eje embriónico. En Lycopodiales, las raíces subsecuentes se generan en los tallos, en Isoëtales en la región basal de la planta, mientras que en Selaginellales únicamente se producen a partir de un órgano exclusivo de la familia, el rizóforo (Figura 11). Ramifican dicotómicamente al igual que los tallos.

Los representantes de los órdenes Selaginellales e Isoëtales presentan un órgano del cual poco se sabe; la lígula es un minúsculo apéndice que se presenta en la axila adaxial entre la micrófila y el esporangio, y se muestra como una pequeña proyección compuesta por cuatro partes: la vaina, el glosopodio, el cuerpo y el ápice. La lígula de las hojas de *Selaginella* tienen un origen multicelular, mientras que en *Isoetes* surgen de una sola célula epidérmica. Se ha especulado que la lígula tuvo una función de producción y almacenamiento de mucílago, con el fin de evitar la desecación de las micrófilas o de los esporangios.



Figura 11. El rizóforo es un órgano exclusivo del género *Selaginella*. Se produce en los nodos de las ramificaciones dicotómicas (arriba) y es a partir de este que se desarrollan las raíces (abajo). Tienen gravitropismo positivo, pero su función específica no está bien definida.

Hábitat

Las licófitas modernas son cosmopolitas, habitando todos los continentes con excepción de la Antártida. Su mayor diversidad se encuentra en los trópicos y zonas templadas, aunque también se les encuentra en zonas áridas y entre la vegetación alpina. Pueden ser terrestres, epífitas, rupícolas o acuáticas (Ambrose, 2018; Spencer *et al.*, 2020).

Los gametofitos y las raíces de esporofitos de algunas especies de licófitas tienen una muy fuerte relación con hongos de la familia Densosporaceae (Mucoromycotina), pero son muy propensas al ataque de hongos parásitos (Perez-Lamarque *et al.*, 2022). Se ha encontrado que insectos de los órdenes Diptera (moscas y mosquitos), Hemiptera (chinches, pulgones y cigarras), Lepidoptera (mariposas y polillas) y Thysanoptera (trips) se alimentan de licófitas (Fuentes-Jacques *et al.*, 2022).

Ciclo de Vida

Las licófitas carecen de semillas, flores o frutos, que son resultado de una compleja evolución hacia ambientes más áridos y por la necesidad de las plantas por extender el tiempo de vida de sus embriones, proporcionándoles grandes cantidades de almidones y cubiertas gruesas. En su lugar, estas plantas llevan a cabo su reproducción mediante esporas. Las esporas se generan en estructuras denominadas esporangios, los cuales nacen en la cara adaxial o superior de las micrófilas (esporófilas).

Los esporangios en Selaginellales y algunas especies de Lycopodiales se agrupan en una estructura especial la cual recibe el nombre de estróbilo, compuesto por micrófilas que presentan adecuaciones para acomodar a los esporangios, conocidas como esporófilas. Los estróbilos surgen en los extremos distales de los tallos. En otras especies, los esporangios pueden ocurrir de forma alternante con zonas de hojas vegetativas. Por otro lado, en Isoëtales ocurren en el espacio ensanchado de la base de cada hoja. Los esporangios de las licófitas surgen a partir de múltiples células epiteliales, por lo que son considerados eusporangios.

Estas plantas presentan dos tipos de configuración de esporas. El orden Lycopodiales es monosporangiado y homospórico; es decir, cuentan con un solo tipo de esporangio que produce un solo tipo de espota. Esta espota, al presentarse las condiciones adecuadas, germina en un gametofito minúsculo, micoheterótrofo y no fotosin-

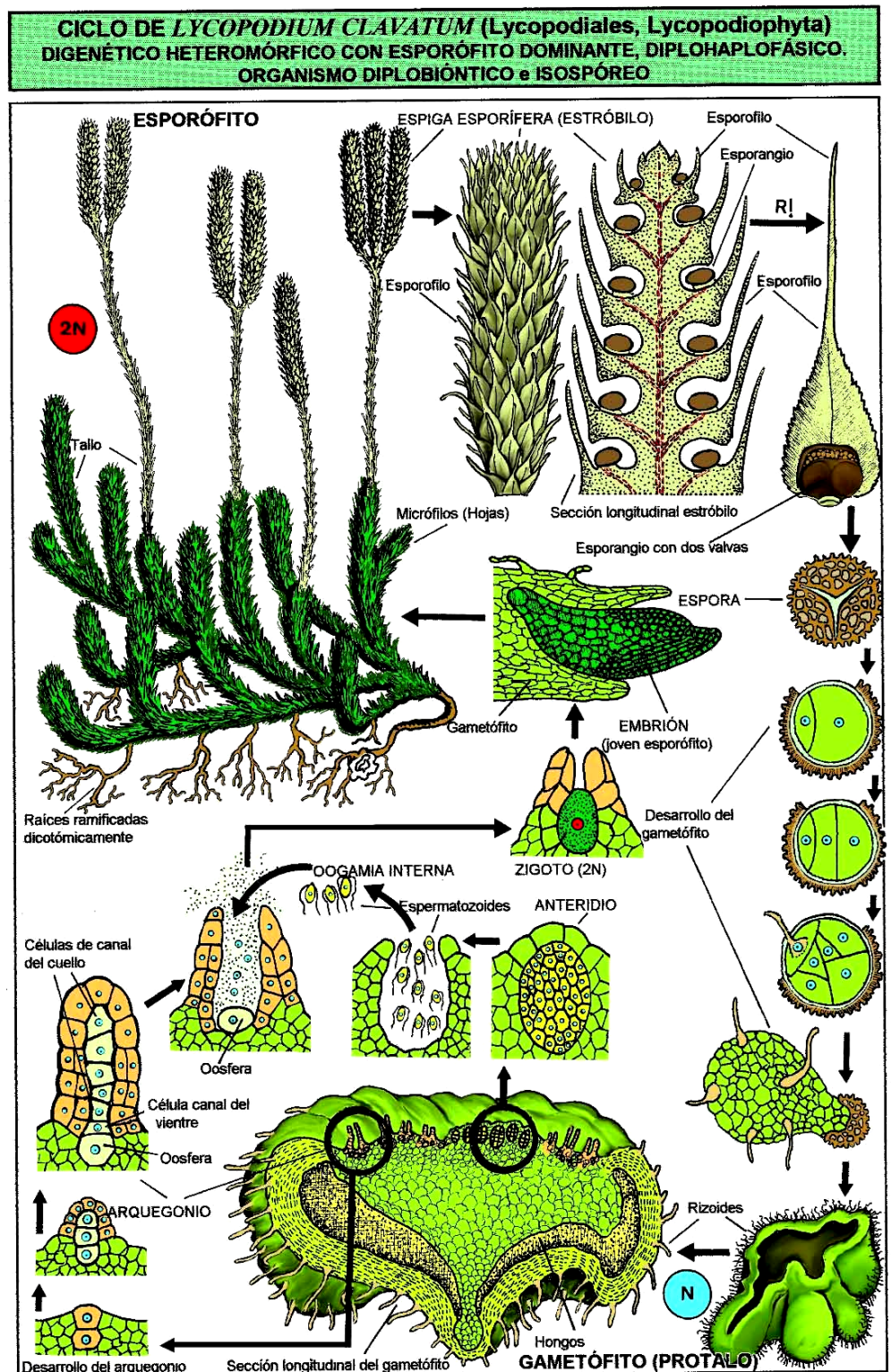


Figura 12. Ciclo de vida de *Lycopodium clavatum*.

tético, en estado adulto los gametofitos son bisexuales, con arquegonios donde se forman los gametos femeninos (oosferas) y anteridios donde se producen los gametos masculinos (anterozoides) (Figura 12).

Por otro lado, los órdenes Selaginellales e Isoëtales son bisporangios y heterosporicos, es decir, con dos tipos de esporangios: megasporangios con megasporas y microsporangios con microsporas. La germinación es endosporica; las megasporas germinan en megagametofitos donde se forman los gametos femeninos (oosferas) en sus arquegonios, y las microsporas en microgametofitos que generan a los masculinos (anterozoides) en sus anteridios (Figura 13).

En todas las licófitas, los anterozoides son motiles y requieren de por lo menos una fina capa de agua en el sustrato para poder nadar y alcanzar las oosferas. En Lycopodiales y Selaginellales, estos anterozoides son biflagelados, mientras en Isoëtales son multiflagelados. Una vez que los gametos hacen contacto, se forma un cigoto, posteriormente origina un embrión que eventualmente se transformará en el esporofito, que es la fase dominante y visible de estas plantas, y el ciclo comenzará de nuevo. De forma general se considera que las fases gametofítica y esporofítica son plantas independientes dentro de la misma especie.

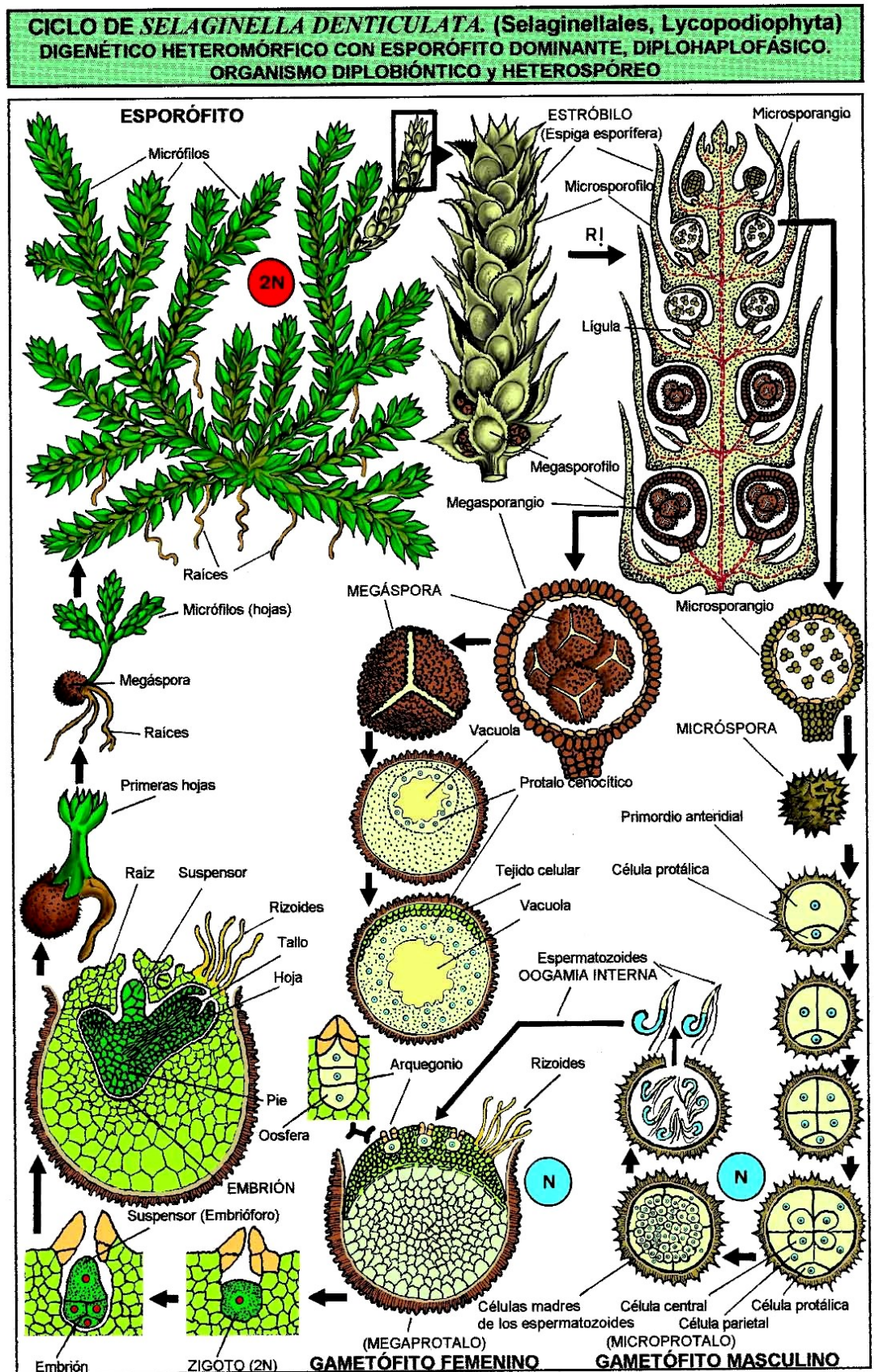


Figura 13. Ciclo de vida de *Selaginella denticulata*, representativo de las licófitas heterosporicas.

Importancia Económica

A lo largo de la historia se les han dado usos diversos. Las esporas de algunas especies son inflamables una vez secas, y han sido utilizadas en la fabricación de pirotecnia y efectos especiales (Cobb y Foster, 1956), como relleno para poros en madera de laudaría, lubricante hipoalergénico, agente antiapelmazante, estabilizador en productos lácteos, así como talco, cicatrizante y antiinflamatorio bajo el nombre de “polvo de licopodio” o “azufre vegetal” (Illana-Esteban, 2007). Por otro lado, a las hojas, tallos e incluso plantas completas de diversas especies se les atribuyen propiedades medicinales para tratar padecimientos renales y hepáticos, como anticancerígenos, diuréticos, antibacteriales, antipiréticos y para tratar enfermedades venéreas (Santos-Reginaldo *et al.*, 2020). Las plantas son atractivas, y existen variedades con follaje iridiscente, rojizo o azul. Especies de las tres familias se utilizan comúnmente en terrarios tropicales como plantas ornamentales.

ORDEN LYCOPODIALES

Orden Lycopodiales. Una familia, 17 géneros y 497 especies.

Descripción equivalente a la familia Lycopodiaceae, de acuerdo con Øllgaard (1990). Son plantas herbáceas perennes o anuales; terrestres o epífitas; de crecimiento generalmente indefinido. Sus tallos son elongados, subterráneos, reptantes, ascendentes, erectos o colgantes, con ramificación dicotómica isotoma (con ramificaciones de igual tamaño, como por ejemplo en *Huperzia* [Figura 14]) o anisótomas (con ramificaciones desiguales, como en *Lycopodium*

[Figura 15]), o bien, arrossetadas a partir de un tubérculo (en *Phylloglossum* [Figura 16]).

Hojas micrófilas simples, no liguladas, lineares a acinatas, arregladas en espiral, ampliamente helicoidales o decusadas; isófilas o anisófilas (distintas a lo largo de la planta), homófilas o heterófilas (distintas distal y proximalmente); generalmente glabras; con



Figura 14. *Huperzia lucidula*, mostrando sus ramificaciones isótomas, micrófilas lineares y esporangios reniformes (Marcum, 2022).



Figura 15. *Lycopodium clavatum*, con sus ramificaciones anisótomas y prominentes estróbilos (Easonyu, 2022).

láminas de color verde; ligeramente succulentas a delgadas. Esporófilas similares o ligeramente distintas a las hojas vegetativas, perennes o efímeras. Raíces con ramificación dicotómica producidas en la base o a lo largo de los tallos postrados.

Los estróbilos pueden ser simples o ramificados, péndulos a erectos sobre un pedúnculo delgado. Esporangios reniformes a subglobosos. Plantas homospóricas, con esporas no fotosintéticas, tetrahédricas, triletes.

Familia Lycopodiaceae

Familia Lycopodiaceae. Cuatro subfamilias (Bánki *et al.*, 2025)

Subfamilia Lycopodielloideae

Brownseya (Kunze) Li Bing Zhang,
L.D.Sheph., D.K.Chen, X.M.Zhou &
H.He (1 sp.)

Lateristachys Holub (3 spp.)

Lycopodiella Holub (16 spp.)

Palhinhaea Franco & Vasc. (27 spp.)

Pseudolycopodiella Holub (16 spp.)

Subfamilia Lycopodioideae

Austrolycopodium Holub (7 spp.)

Dendrolycopodium A.Haines (5 spp.)

Diphasiastrum Holub (26 spp.)

Diphasium C.Presl ex Rothm. (4 spp.)

Lycopodium L. (7 spp.)

Pseudodiphasium Holub (1 sp.)

Pseudolycopodium Holub (1 sp.)

Spinulum A.Haines (2 spp.)

Subfamilia Lycopodiastroideae

Lycopodiastrum Holub ex R.D.Dixit (1 sp.)

Subfamilia Huperzioideae

Huperzia Bernh. (61 spp.)

Phlegmariurus Holub (309 spp.)

Phylloglossum Kunze (1 sp.)



Figura 16. *Phylloglossum drummondii*, inconspicua licófitas endémica a Nueva Zelanda y Australia, con sus hojas lineares y estróbilo que alcanza 5 cm de alto (Campbell, 2015).

ORDEN ISOËTALES

Orden Isoëtales. Una familia, un género, 238 especies.

Descripción equivalente a la familia Isoëtaceae, de acuerdo con Jermy (1990b). Son plantas herbáceas perennes o anuales; acuáticas o terrestres únicamente en zonas de suelos saturados. Con tallos similares a cormos o pseudobulbos, arrosados, con una corteza exterior, generalmente con numerosos vástagos creciendo alrededor de la base.

Hojas micrófilas de 2-100 cm de largo, hasta 10 mm de ancho; filiformes, triangulares o teretes (cilíndricas); con ápices largos y agudos; generalmente glabras; de color verde claro al estar frescas y húmedas. Liguladas adaxialmente, por encima del esporangio. Hojas fértiles (poseedoras de esporangios viables) de producción continua o estacional.

Sin estróbilos. Esporangios producidos en la base de la cara adaxial de las hojas; ovoides a subglobosos; parcialmente septados o con trabéculas transversales. Al ser plantas heterospóricas, presentan esporas de dos tipos, generalmente en esporangios distintos (aunque pueden producirse ambos tipos en el mismo esporangio); megasporas triletes con pronunciadas crestas ecuatoriales, equinadas, rugosas a levigatas microsporas monoletes de aproximadamente una décima parte del tamaño de las megasporas, monoletes, equinadas, tuberculadas a papiladas.

Familia Isoëtaceae

Familia Isoëtaceae. Un género, 238 especies. Descripción equivalente al género *Isoëtes* (Figuras 17 y 18).

Isoëtes L. (238 spp.)



Figura 17. *Isoëtes duriei*, licófito acuática con aspecto similar a un pasto o cebolla (Labeyrie, 2022).

ORDEN SELAGINELLALES

Orden Selaginellales. Una familia, un género, 762 especies.

Descripción equivalente a la familia Selaginellaceae, de acuerdo con González-Martínez (2024). Son plan-

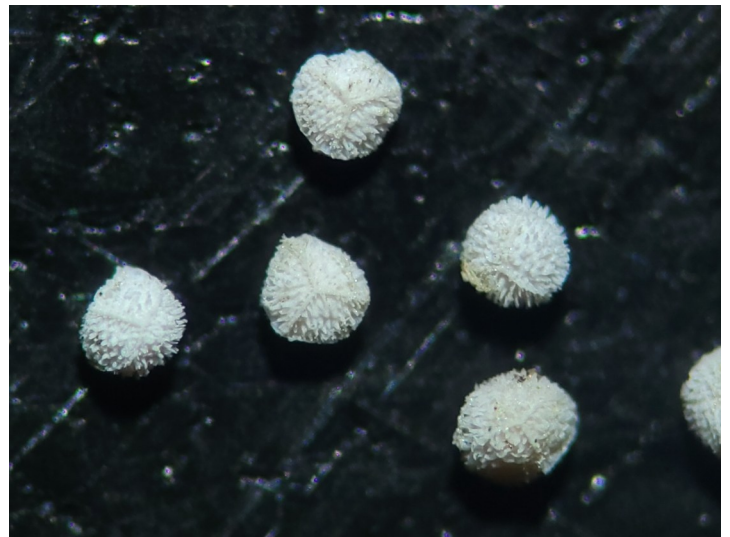


Figura 18. Megasporas de *Isoëtes echinospora*. El epíteto *echinospora* significa “esporas espinosas” (Brinker, 2021).

tas herbáceas perennes o anuales; terrestres, rupícolas o raramente epífitas o hemiepífitas; de crecimiento indefinido sólo restringido por las temporadas o condiciones ambientales. Sus tallos son postrados, extendidos y reptantes, decumbentes, cespitosos, caulescentes, erectos, o formando rosetas; articulados (con la presencia de un engrosamiento o constricción en los nudos) o no; generalmente ramificados pseudo-dicotómicamente; algunas especies flageliformes (con los ápices de las ramas terminales alargados y adelgazados).

Hojas micrófilas, liguladas adaxialmente; lineares a orbiculares; arregladas en numerosas filas espirales de hojas pequeñas y lineares (isófilas) o en cuatro filas paralelas y dorsoventrales: dos filas laterales de hojas extendidas, dos filas medias de hojas ascendentes y con hojas axilares simétricas cubriendo los nudos ventralmente (anisófilas); laxas a fuertemente apesadas al tallo; con ápices obtusos a largamente aristados; márgenes enteros a largamente ciliados, hialinos, amarillentos o verdosos; con bases decurrentes a adnatas (isófilas), auriculadas, no auriculadas, a peltadas y usualmente con las acroscópicas más grandes que las basiscópicas en las hojas medias

y laterales (anisófilas), glabras a pubescentes; láminas verdes adaxialmente, a veces con grupos de células hialino-plateadas llamadas idioblastos y de color variable abaxialmente (verdes, plateadas, estramíneas a rojizas); ligeramente succulentas a cartáceas.

Presentan un órgano “intermedio” entre tallos y raíces, denominado rizóforo, exclusivo al género; con geotropismo positivo, con color y grosor de importancia taxonómica; exclusivamente en la base de los tallos o a lo largo de éstos; ramificados dicotómicamente al hacer contacto con el sustrato y a partir de los cuales se generan raíces verdaderas.



Figura 19. *Selaginella apoda*, licófito terrestre nativa de Norteamérica (Graham, 2022).

Estróbilos generalmente terminales, aunque pueden ser laterales o con regresión a crecimiento vegetativo; tetragonales, raramente aplanados o cilíndricos; compuestos de esporófilas (hojas diferenciadas) aquilladas y generalmente lanceoladas; arregladas en espiral o en cuatro filas, uniformes o dimórficas; con una lígula adaxial de mayor tamaño a la de las hojas vegetativas. Esporangios cortamente peciolados, soli-



Figura 20. *Selaginella selaginoides*, licófito terrestre y rupícola de las zonas templadas del hemisferio norte. A pesar de ser la especie tipo del género, es la que más difiere del resto ya que no posee estróbilos bien definidos ni rizóforos (Ibáñez, 2021).

tarios y fijados al raquis del estróbilo, dehiscentes por medio de aperturas distales.

Al ser plantas heterospóricas, presentan esporangios y esporas de dos tipos; megasporangios con 4 megasporas tetraédricas triletes, amarillas, pardas a blancas (que germinan en gametofitos femeninos) y microsporangios con centenas de microsporas tetraédricas triletes, rojizas, anaranjado a amarillas (que germinan en gametofitos masculinos). Ambos tipos pueden estar ornamentados por papilas, verrugas, rugosidades o espinas en las superficies y en las crestas. La cantidad y distribución de micro y megasporangios por estróbilo es variable y suele utilizarse como característica diagnóstica. A las esporófilas que albergan microsporangios se les denomina microsporoófilas, y a las que sostienen a los megasporangios, se les llama megasporófilas.



Figura 21. *Selaginella novoleonensis*, licófita arrose-tada terrestre nativa de México y Centroamérica, comúnmente confundida con la famosa “flor de pe-ña” o “rosa de Jericó” (*Selaginella lepidophylla*) (González-Martínez, 2024).

Familia Selaginellaceae

Familia Selaginellaceae. Un género, 762 especies. Descripción equivalente al género *Selaginella* (Figura 19).

Selaginella P.Beauv. (762 especies)

De acuerdo con Weststrand & Korall (2016), se puede dividir en siete subgéneros.

Selaginella subg. *Selaginella* P.Beauv. (2 spp.)
[Figura 20]

Selaginella subg. *Rupestrae* Weststrand & Korall (50 spp.)

Selaginella subg. *Lepidophyllae* (Li Bing Zhang & X.M.Zhou) Weststrand & Korall (3 spp.)
[Figura 21]

Selaginella subg. *Gymnogynum* (P.Beauv.) Weststrand & Korall (40 spp.)

Selaginella subg. *Exaltatae* Weststrand & Korall (3 o 6 spp.)

Selaginella subg. *Ericetorum* Jermy (6 spp.)

Selaginella subg. *Stachygynandrum* (P.Beauv. ex Mirb.) Baker (aprox. 600 spp.)

Las licófitas en México

De acuerdo con Mickel y Beitel (1988), Mickel y Smith (2004), Villaseñor (2016), Tejero-Díez (2019), Madrigal-González y Bedolla-García (2021), Patiño-Siciliano (2021) y Bánki *et al.* (2025), las especies de licófitas enlistadas en la Tabla 1 se distribuyen dentro del territorio mexicano.

Conclusión

Las licófitas son plantas que han estado presentes en nuestro planeta por cientos de millones de años. En su momento, llegaron a ser las especies vegetales dominantes en los ecosistemas terrestres y formaron los primeros bosques conocidos, mientras que en la actualidad son inconspicuas entre el follaje tropical, en acantilados y pedregales desérticos. Su necesidad de agua líquida para la reproducción puede considerarse un factor limitante para su dispersión, que es superada por las plantas con semillas y algunos helechos. A pesar de su relativa rareza, se han encontrado usos medicinales e industriales para estas plantas, particularmente de sus esporas. México alberga alrededor de 111 de las casi 1500 especies conocidas de este grupo, donde la familia Selaginellaceae (género *Selaginella*), la más diversa de las licófitas, cuenta con 80 de sus 762 especies distribuidas dentro del territorio nacional.

Agradecimientos

Dedicamos este trabajo a la memoria, obra y vida del Dr. Sergio Moreno Limón†, por introducirnos a este maravilloso tema con su particular estilo en la clase de Biodiversidad de Criptógamas. Asimismo, agradecemos al Dr. Iván A. Valdespino Quintero, la Dra. Susana Favela Lara y al Dr. Sergio M. Salcedo Martínez por su apoyo en la investigación del género *Selaginella* en Nuevo León.

Referencias

Ambrose B.A. (2018). The Morphology and Development of Lycophytes. Annual Plant Reviews Online 45: 91-114. <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0488>

Tabla 1. Listado de especies de licófitas (clase Lycopodiopsida) pertenecientes a las familias Lycopodiaceae, Isoëtaceae Selaginellaceae presentes en México. La distribución dentro del territorio mexicano se indica con los siguientes acrónimos estatales: Aguascalientes (AGS), Baja California (BCN), Baja California Sur (BCS), Campeche (CAM), Chiapas (CHIS), Chihuahua (CHIH), Ciudad de México (CDMX), Coahuila de Zaragoza (COAH), Colima (COL), Guanajuato (GTO), Guerrero (GRO), Hidalgo (HGO), Jalisco (JAL), Estado de México (MEX), Michoacán de Ocampo (MICH), Morelos (MOR), Nayarit (NAY), Nuevo León (NL), Oaxaca (OAX), Puebla (PUE), Querétaro (QRO), Quintana Roo (QNR), San Luis Potosí (SLP), Sinaloa (SIN), Sonora (SON), Tabasco (TAB), Tamaulipas (TAM), Tlaxcala (TLX), Veracruz de Ignacio de la Llave (VER), Yucatán (YUC), Zacatecas (ZAC).

NOMBRE	DISTRIBUCIÓN EN MÉXICO
Familia Lycopodiaceae	
<i>Diphasiastrum thyoides</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Holub	CHIS, HGO, OAX, PUE, VER
<i>Huperzia beiteliana</i> Mickel	SLP, OAX
<i>Huperzia javanica</i> (Sw.) Fraser-Jenk.	HGO, OAX
<i>Lycopodium clavatum</i> L. var. <i>aristatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Spring	CHIS, COL, GRO, HGO, JAL, MEX, MICH, OAX, PUE, QRO, SLP, VER
<i>Palhinhaea cernua</i> (L.) Franco & Vasc.	CHIS, COL, GRO, HGO, JAL, MEX, MICH, NAY, OAX, PUE, TAB, VER
<i>Phlegmariurus bradeorum</i> (Christ) B.Øllg.	CHIS
<i>Phlegmariurus capillaris</i> (Sodirol) B.Øllg.	CHIS
<i>Phlegmariurus crassus</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) B.Øllg.	OAX
<i>Phlegmariurus cuernavacensis</i> (Underw. & F.E.Lloyd) B.Øllg.	CHIS, COL, DGO, GRO, JAL, MEX, MICH, MOR, OAX, PUE, SIN, VER
<i>Phlegmariurus dichotomus</i> (Jacq.) W.H.Wagner	CHIS, OAX, PUE, SLP, TAM, VER
<i>Phlegmariurus hartwegianus</i> (Spring) B.Øllg.	CHIS
<i>Phlegmariurus hippurideus</i> (Christ) B.Øllg.	CHIS, OAX
<i>Phlegmariurus linifolius</i> (L.) B.Øllg.	CHIS, GRO, OAX, PUE, VER
<i>Phlegmariurus mexicanus</i> (Herter) B.Øllg.	CHIS, OAX
<i>Phlegmariurus mollicomus</i> (Spring) B.Øllg.	OAX
<i>Phlegmariurus myrsinites</i> (Lam.) B.Øllg.	CHIS, GRO, OAX, PUE, VER
<i>Phlegmariurus orizabae</i> (Underw. & F.E.Lloyd) B.Øllg.	CHIS, OAX, VER
<i>Phlegmariurus pithyoides</i> (Schltdl. & Cham.) B.Øllg.	CHIS, COL, GRO, JAL, OAX, SLP, TAM, VER
<i>Phlegmariurus pringlei</i> (Underw. & F.E.Lloyd) B.Øllg.	CHIS, COL, GRO, HGO, JAL, MEX, MICH, MOR, OAX, SIN, VER
<i>Phlegmariurus reflexus</i> (Lam.) B.Øllg.	CHIS, GRO, HGO, JAL, MEX, OAX, PUE, VER
<i>Phlegmariurus taxifolius</i> (Sw.) Á. Löve & D. Löve	CHIS, CDMX, GRO, HGO, JAL, MEX, MICH, OAX, PUE, SLP, SIN, TAM, VER
<i>Phlegmariurus willsonii</i> (Underw. & F.E.Lloyd) B.Øllg.	OAX
Familia Isoëtaceae	
<i>Isoëtes cubana</i> Engelm. ex Baker	YUC
<i>Isoëtes howellii</i> Engelm.	BCN, BCS

Tabla 1. Continuación....

NOMBRE	DISTRIBUCIÓN EN MÉXICO
<i>Isoëtes mexicana</i> Underw.	CHIH, CDMX, DGO, GTO, HGO, JAL, MEX, MICH, MOR, NAY, QRO, ZAC
<i>Isoëtes montezumae</i> A.A.Eaton	AGS, CHIS, GTO, JAL, MEX, MICH, MOR, NAT, ZAC
<i>Isoëtes orcuttii</i> A.A.Eaton	BCN
<i>Isoëtes pallida</i> Hickey	CAM, GRO, OAX
<i>Isoëtes pringlei</i> Underw.	CHIS, JAL, MEX
<i>Isoëtes tamaulipana</i> Mora-Olivo, A.Mend & Mart.-Aval.	TAM
Familia Selaginellaceae	
<i>Selaginella acutifolia</i> (Stolze) Valdespino	GTO, OAX, QRO
<i>Selaginella apoda</i> (L.) Spring	CHIS, HGO, JAL, MEX, OAX, PUE, TAM, VER
<i>Selaginella arizonica</i> Maxon	BCN, BCS, CHIH, NL, SON
<i>Selaginella arsenei</i> Weath.	CHIH, GTO, GRO, HGO, QRO, SLP, SON, VER
<i>Selaginella arsiada</i> Valdespino	QRO, VER
<i>Selaginella asprella</i> Maxon	BCN
<i>Selaginella barnebyana</i> Valdespino	CHIS
<i>Selaginella basipilosa</i> Valdespino	OAX
<i>Selaginella bernoullii</i> Hieron.	CHIS, OAX
<i>Selaginella bigelovii</i> Underw.	BCN, BCS
<i>Selaginella breedlovei</i> Valdespino	CHIS
<i>Selaginella carnerosana</i> T.Reeves	COAH, NL
<i>Selaginella chiapensis</i> A.R.Sm.	CHIS, OAX
<i>Selaginella cinerascens</i> A.A.Eaton	BCN
<i>Selaginella convoluta</i> (Arn.) Spring	CAM, YUC
<i>Selaginella corrugis</i> Mickel & Beitel	OAX
<i>Selaginella cuneata</i> Mickel & Beitel	OAX
<i>Selaginella delicatissima</i> Linden ex A. Braun	AGS, CHIS, CHIH, COAH, COL, GTO, GRO, HGO, JAL, MEX, MICH, MOR, NAY, NL, OAX, PUE, QRO, SLP, SIN, SON, TAM, VER, ZAC
<i>Selaginella eremophila</i> Maxon	BCN, COAH, NL, SON, ZAC
<i>Selaginella eurynota</i> A.Braun	CHIS, COL, GRO, JAL, NAY, OAX
<i>Selaginella extensa</i> Underw.	HGO, JAL, MOR, OAX, PUE, QRO, SLP, TAM, VER, ZAC
<i>Selaginella finitima</i> Mickel & Beitel	CHIS, OAX, TAB, VER
<i>Selaginella flagellata</i> (L.) Spring	CHIS, COL, GRO, OAX, VER
<i>Selaginella flexulosa</i> Spring	CHIS, GRO, HGO, MICH, OAX, PUE, VER
<i>Selaginella guatemalensis</i> Baker	CHIS, OAX
<i>Selaginella gypsophila</i> A.R.Sm. & T.Reeves	NL, SLP
<i>Selaginella harrisii</i> Underw. & Hieron.	CHIS, OAX, TAB

Tabla 1. Continuación....

NOMBRE	DISTRIBUCIÓN EN MÉXICO
<i>Selaginella hirtifolia</i> Valdespino	CAM, CHIS, GRO, HGO, MEX, MICH, MOR, OAX, QRO, SLP, TAM, VER, YUC
<i>Selaginella hoffmannii</i> Hieron.	CHIS, COL, GRO, HGO, JAL, MEX, MICH, MOR, NAY, OAX, PUE, QRO, SIN, VER
<i>Selaginella huehuetenangensis</i> Hieron.	CHIS
<i>Selaginella illecebrosa</i> Alston	CHIS, GRO, MOR, OAX, TAB, VER
<i>Selaginella landii</i> Greenm. & N.Pfeiff.	JAL, MEX, MOR, NAY, OAX, PUE, ZAC
<i>Selaginella lepidophylla</i> (Hook. & Grev.) Spring	AGS, BCN, BCS, CHIS, CHIH, COAH, COL, CDMX, DGO, GTO, GRO, HGO, JAL, MEX, MICH, MOR, NAY, NL, OAX, PUE, QRO, SLP, SIN, SON, TAM, TLX, VER, ZAC
<i>Selaginella lindenii</i> Spring	CHIS, OAX, TAB
<i>Selaginella lineolata</i> Mickel & Beitel	COL, GRO, HGO, JAL, MEX, NAY, OAX, QRO, SLP, SIN, VER
<i>Selaginella macrathera</i> Weath.	CHIH, SON
<i>Selaginella marginata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Spring	DGO, GRO, JAL, NAY, SIN, VER
<i>Selaginella martensii</i> Spring	CHIS, HGO, MEX, OAX, PUE, QRO, SLP, VER
<i>Selaginella mickelii</i> Valdespino	CHIS, OAX, TAB, VER
<i>Selaginella minima</i> Spring	NAY, OAX
<i>Selaginella mixteca</i> Mickel & Beitel	OAX, PUE
<i>Selaginella moritziana</i> Spring ex Klotzsch	CHIS, OAX
<i>Selaginella mosorongensis</i> Hieron.	OAX, VER
<i>Selaginella mutica</i> D.C.Eaton ex Underw.	CHIH
<i>Selaginella nothohybrida</i> Valdespino	GRO, HGO, OAX
<i>Selaginella novoleonensis</i> Hieron.	CHIH, COAH, GRO, NL, OAX, SON
<i>Selaginella oaxacana</i> Spring	CHIS, OAX, VER
<i>Selaginella orizabensis</i> Hieron.	VER
<i>Selaginella pallescens</i> (C.Presl) Spring	AGS, BCN, BCS, CHIS, CHIH, COAH, COL, CDMX, DGO, GTO, GRO, HGO, JAL, MEX, MICH, MOR, NAY, NL, OAX, PUE, QRO, SLP, SIN, SON, TAM, TLX, VER, YUC, ZAC
<i>Selaginella parishii</i> Underw.	COAH, NL, PUE, ZAC
<i>Selaginella peruviana</i> (Milde) Hieron.	CHIH, COAH, CDMX, DGO, GTO, HGO, JAL, MEX, MICH, OAX, NL, SON, VER
<i>Selaginella pilifera</i> A.Braun	CHIH, COAH, NL, QRO, SLP, SON, TAM
<i>Selaginella polyptera</i> Valdespino	CHIS, HGO, OAX, SLP, VER
<i>Selaginella popayanensis</i> Hieron.	CHIS, GRO, OAX
<i>Selaginella porphyrospora</i> A.Braun	CHIS, COL, GTO, GRO, HGO, JAL, MEX, MICH, MOR, NAY, OAX, PUE, SIN, SON, VER
<i>Selaginella prolifera</i> Valdespino	CHIS, GRO, OAX

Tabla 1. Continuación....

NOMBRE	DISTRIBUCIÓN EN MÉXICO
<i>Selaginella pulcherrima</i> Liebm.	CHIS, GRO, HGO, OAX, VER
<i>Selaginella reflexa</i> Underw.	CHIS, GRO, HGO, JAL, NL, QRO, SLP, TAM, VER
<i>Selaginella ribae</i> Valdespino	DGO, GRO, NL, TAM
<i>Selaginella rupincola</i> Underw.	AGS, CHIH, COAH, CDMX, DGO, GTO, GRO, HGO, JAL, MEX, MOR, OAX, PUE, QRO, SLP, SIN, SON, TAM, ZAC
<i>Selaginella rzedowskii</i> Lorea-Hem.	GRO, MOR
<i>Selaginella sartorii</i> Hieron.	CHIS, CHIH, DGO, GTO, GRO, JAL, MEX, MOR, NAY, NL, OAX, PUE, SLP, SON, TAM, VER, ZAC
<i>Selaginella schaffneri</i> Hieron.	GTO, JAL, MEX, MICH, MOR, NAY, SLP, ZAC
<i>Selaginella schiedeana</i> A.Braun	CHIS, GRO, HGO, MEX, MICH, OAX, PUE, QRO, SLP, TAM, VER
<i>Selaginella schizobasis</i> Baker	CHIS, OAX, TAB, VER
<i>Selaginella sellowii</i> Hieron.	CDMX, DGO, GTO, HGO, JAL, MEX, MOR, OAX, PUE, QRO, SLP, SIN, SON, TAM, VER, ZAC
<i>Selaginella sertata</i> Spring	CAM, CHIS, COL, GRO, HGO, JAL, MEX, MICH, NAY, OAX, SIN, VER
<i>Selaginella silvestris</i> Aspl.	CHIS, COL, HGO, JAL, MEX, OAX, PUE, VER
<i>Selaginella simplex</i> Baker	GRO, NAY, OAX
<i>Selaginella stellata</i> Spring	CHIS, COL, GRO, HGO, JAL, OAX, PUE, TAB, VER
<i>Selaginella stenophylla</i> A.Braun	HGO, NL, PUE, QRO, SLP, TAM, VER
<i>Selaginella steyermarkii</i> Alston	CHIS
<i>Selaginella subrugosa</i> Mickel & Beitel	OAX
<i>Selaginella tarda</i> Mickel & Beitel	COL, DGO, GRO, JAL, MEX, MICH, NAY, OAX, SIN
<i>Selaginella tenella</i> (P.Beauv.) Spring	CHIS, COL, DGO, GRO, HGO, JAL, MEX, JAL, MEX, NAY, OAX, SIN, VER
<i>Selaginella tuberosa</i> McAlpin & Lellinger	OAX
<i>Selaginella umbrosa</i> Lem. ex Hieron.	CHIS, OAX, YUC
<i>Selaginella underwoodii</i> Hieron.	CHIH, SON
<i>Selaginella viridissima</i> Weath.	CHIH, COAH
<i>Selaginella wrightii</i> Hieron.	CHIH, COAH, GTO, GRO, HGO, JAL, MEX, NL, OAX, PUE, QRO, SLP, SON, TAM, TLX, VER, ZAC

Bánkim O., Roskov Y., Döring M., Ower G., Hernández Robles D.R., Plata Corredor C.A., Stjernegaard Jeppesen T., Örn A., Pape T., Hobern D., Garnett S., Little H., DeWalt R.E., Ma K., Miller J., Orrell T., Aalbu R., Abbott J., Aedo C., et al. (2025). Catalogue of Life (Version 2025-01-17). Catalogue of Life, Amsterdam, Netherlands. <https://doi.org/10.48580/dgmv5>

Banks J.A. (2009). *Selaginella* and 400 million years of separation. Annual Review of Plant Biology 60: 223-238. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092851>

Berry C.M., Marshall J.E.A. (2015). Lycopsid forests in the early Late Devonian paleoequatorial zone of Svalbard. Geology 43 (12): 1043-1046. <https://doi.org/10.1130%2FG37000.1>

Cobb B., Foster L.L. (1956). *A Field Guide to Ferns and their related families: Northeastern and Central North America with a section on species also found in the British Isles and Western Europe*. Peterson Field Guides. Houghton Mifflin. 215.

Falcon-Lang H.J., Dimichele W.A. (2010). What happened to the coal forests during Pennsylvanian glacial phases? Palaios 25(9): 611-617.

Field A.R., Testo W., Bostock P.D.B., Holtum J.A.M., Waycott M. (2016). Molecular phylogenetics and the morphology of the Lycopodiaceae subfamily Huperzioideae supports three genera: *Huperzia*, *Phlegmariurus* and *Phylloglossum*. Molecular Phylogenetics and Evolution 94: 635-657.

- Fuentes-Jacques L.J., Hanson-Snortum P., Hernández-Ortiz V., Díaz-Castelazo C., Mehlreter K. (2022). A global review and network analysis of phytophagous insect interactions with ferns and lycophytes. *Plant Ecology* 223(1): 27-40. <https://doi.org/10.1007/s11258-021-01187-5>
- Garrienne P., Cascales-Minana B., Prestianni C., Steemans P., Cheng-Sen L. (2018). *Lilingostrobus chaloneri* gen. et sp. nov., a Late Devonian woody lycopsid from Hunan, China. *PLoS ONE* 13 (7). e0198287. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198287>
- Gensel P.G. (1992). Phylogenetic Relationships of the Zosterophylls and Lycopsids: Evidence from Morphology, Paleoecology, and Cladistic Methods of Inference. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 79(3): 450-473. <https://doi.org/10.2307/2399750>
- Gensel P.G., Berry C.M. (2001). Early lycophyte evolution. *American Fern Journal* 91(3): 74-98.
- González-Martínez A. (2024). Descripción y Apuntes Taxonómicos de *Selaginella* subg. *Lepidophyllae*, con Énfasis en el Noreste de México [Tesis de Licenciatura]. Facultad de Ciencias Biológicas – Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Hall C., Knuth M. (2019). An Update of the Literature Supporting the Well-Being Benefits of Plants: A Review of the Emotional and Mental Health Benefits of Plants. *Journal of Environmental Horticulture* 37(1): 30-38. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-37.1.30>
- Illana-Esteban C. (2007). Etnobotánica de los helechos del género *Lycopodium*. *Quercus* 256: 24-27.
- Jermy A.C. (1990a). *Selaginellaceae*. En Kubitzki K. y Green, P. S. (eds.). *The Families and Genera of Vascular Plants – Pteridophytes and Gymnosperms*. Springer-Verlag. 39-45.
- Jermy A.C. (1990b). *Isoetaceae*. En Kubitzki K. & Green, P. S. (eds.). *The Families and Genera of Vascular Plants – Pteridophytes and Gymnosperms*. Springer-Verlag. 26-31.
- Judd W.S., Campbell C.S., Kellogg E., Stevens P., Donoghue M.J. (2015). *Plant Systematics: A Phylogenetic Approach* (3a ed.). Sinauer Associates, Inc. 611 pp.
- Kenrick P., Crane P.R. (1997). *The Origin and Early Diversification of Land Plants: a Cladistic Study*. Smithsonian Books. 441 pp
- Klaus K. V., Schulz C., Bauer D.S., Stützel T. (2017). Historical biogeography of the ancient lycophyte genus *Selaginella*: early adaptation to xeric habitats on Pangea. *Cladistics* 33: 469-480. <https://doi.org/10.1111/cla.12184>
- Looy C.V., van Konijnenburg-van, Cittert J.H.A., Duijnste I.A.P. (2021). Proliferation of Isoëtalean Lycophytes During the Permo-Triassic Biotic Crises: A Proxy for the State of the Terrestrial Biosphere. *Frontiers in Earth Science* (9): 55. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.615370>
- Madrigal-González D., Bedolla-García B.Y. (2021). Fascículo 220 - Familia Selaginellaceae. En Rzedowski J., Hernández-Ledesma, P. (eds.) *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. Instituto de Ecología, A. C. 10 pp.
- Mickel J.T., Beitel J. (1988). Pteridophyte Flora of Oaxaca, Mexico. *Memories of the New York Botanical Garden* Vol. 46. The New York Botanical Garden. 1054 pp.
- Mickel J.T., Smith A.R. (2004). The Pteridophytes of Mexico. *Memories of the New York Botanical Garden* Vol. 88. The New York Botanical Garden. 568 pp.
- Morris J.L., Puttick M.N., Clark J.W., Donoghue P.C. (2018). The timescale of early land plant evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 115 (10): E2274-E2283. <https://doi.org/10.1073/pnas.1719588115>
- Øllgaard B. (1990). Lycopodiaceae. En Kubitzki K. y Green P.S. (eds.). *The Families and Genera of Vascular Plants – Pteridophytes and Gymnosperms*. Springer-Verlag. 31-39.
- Patiño-Siciliano A. (2021). Fascículo 224 - Familia Isoëtaceae. En Rzedowski J., Hernández-Ledesma P. (eds.) *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. Instituto de Ecología, A. C. 10 pp.
- Perez-Lamarque B., Laurent-Webb L., Bourceret A., Maillet L., Bik F., Cartier D., Labolle F., Holveck P., Epp D., Selosse M.A. (2022). Fungal microbiomes associated with Lycopodiaceae during ecological succession. *Environmental Microbiology Reports*: 1-10. <http://dx.doi.org/10.1111/1758-2229.13130>
- PPG I (2016). A community-derived classification for extant lycophytes and ferns. *Journal of Systematics and Evolution*, 54 (6), 563-603. <https://doi.org/10.1111/jse.12229>
- Santos-Reginaldo F.P., de Matos-Costa I.C., Brandt-Giordani R. (2020). Selaginellaceae: traditional use, phytochemistry and pharmacology. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 19(3): 247-288. <https://blacpma.mse-ediciones.cl/index.php/blacpma/article/view/44/38>
- Spencer V., Nemec-Venza Z., Harrison C.J. (2020). What can lycophytes teach us about plant evolution and development? Modern perspectives on an ancient lineage. *Evolution & Development* 23(3): 174-196. <https://doi.org/10.1111/ede.12350>
- Steward W.N., Rothwell G.W. (1993). *Paleobotany and The Evolution of Plants* (2a ed.). Cambridge University Press.
- Tejeros-Díez J.D. (2019). Fascículo 211 - Familia Lycopodiaceae. En Rzedowski J., Hernández-Ledesma P. (eds.) *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. Instituto de Ecología, A. C. 23 pp.
- Thomas B.A., Cleal C.J. (2018). Arborescent lycophyte growth in the late Carboniferous coal swamps. *New Phytologist* 218(3): 885-890. <https://doi.org/10.1111/2Fnp.14903>
- Villaseñor J.L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87: 559-902. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Weststrand S., Korall P. (2016). A subgeneric classification of Selaginella (Selaginellaceae). *American Journal of Botany* 103 (12): 2160-2169. <https://doi.org/10.3732/ajb.1600288>
- Wilkström N., Larsén E., Khodabandeh A., Rydin C. (2022). No phylogenomic support for a Cenozoic origin of the “living fossil” *Isoetes*. *American Journal of Botany* 110(1): e16108. <https://doi.org/10.1002/ajb2.16108>
- Wood D., Besnard G., Beerling D.J., Osborne C.P., Christin P.A. (2020). Phylogenomics indicates the “living fossil” *Isoetes* diversified in the Cenozoic. *PLoS ONE* 15(6): e0227525. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227525>

Agaves en México: Una Planta Milenaria y Patrimonio Cultural

Víctor Manuel Almaraz Valle¹, Jaime Alfredo Urzua Gutiérrez²,
Rosaura Méndez Pérez^{3*} y Harol Gabriel Revelo Tobar¹

¹Posgrado en Fitosanidad-Entomología y Acarología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco, km 36.5, Texcoco, Estado de México, México. C.P. 56264.

²Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco, km 38.5, Texcoco, Estado de México, México. C.P. 56230.

³Posgrado en Fitosanidad-Fitopatología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco, km 36.5, Texcoco, Estado de México, México. C.P. 56264.

*Autor para correspondencia: mendez.rosaura@colpos.mx

Resumen

Los agaves son plantas emblemáticas de México, con alrededor de 166 especies distribuidas en el 90% del territorio nacional. Su importancia es múltiple: ecológica, económica, cultural y espiritual. Entre ellos, el *Agave salmiana*, conocido como agave pulquero, destaca por ser la base del pulque, una bebida fermentada de origen prehispánico con profundo valor ritual y nutricional. En la cosmovisión mexicana, el pulque era sagrado y su consumo estaba regulado por normas religiosas. Actualmente, esta bebida vive un resurgimiento en espacios urbanos como símbolo de identidad cultural. La producción tradicional del pulque implica técnicas específicas como el uso de “la semilla” para su fermentación. Además del pulque, el agave pulquero ofrece múltiples productos como forraje, fibras y miel. El cultivo sostenible de esta planta representa una opción ecológica y económica vital para comunidades rurales, al tiempo que preserva un legado biocultural millenario.

Palabras clave:

bebida de los dioses, vino de agave, pulque.

Abstract

Agaves are emblematic plants of Mexico, with approximately 166 species distributed across 90% of the national territory. Their importance spans ecological, economic, cultural, and spiritual domains. Among them, *Agave salmiana*, known as the pulquero agave, is particularly significant as the base for pulque, a traditional fermented beverage with deep pre-Hispanic ritual and nutritional

value. In Mexico cosmology, pulque was sacred, and its consumption was strictly regulated by religious norms. Today, pulque is experiencing a revival in urban settings as a symbol of cultural identity. Its traditional production includes specific techniques such as the use of “la semilla” (fermented starter) for fermentation. Beyond pulque, the agave provides forage, fibers, syrup, and other by-products. Sustainable cultivation of the pulquero agave represents an ecologically sound and economically valuable practice for rural communities, while also preserving a vital biocultural heritage rooted in Mexico’s ancestral traditions.

Key words:

drink of the gods, agave wine, pulque

Introducción

En el vasto y diverso territorio mexicano, pocas son las plantas que tienen una presencia tan emblemática y notable como el agave. Desde siluetas monumentales en los campos áridos por doquier hasta protagonistas en tradiciones ancestrales y gastronomía local, los agaves no son simples plantas, son símbolos vivos de resistencia, identidad y riqueza cultural. Con aproximadamente 166 especies reconocidas distribuidas en el 90% del país (García-Mendoza y Galván, 1995), México se posiciona como el centro de diversidad global de este género botánico.

Diversidad de agaves en México

La variedad de agaves en México no sólo es extensa, sino también se encuentra entrelazada con el entorno ecológico y humano. Desde las zonas desérticas en el norte del país hasta los altiplanos del centro y los valles tropicales del sur de México, las especies de agave se adaptan a una amplia gama de condiciones climáticas y de suelo (García-Mendoza y Galván, 1995).

Entre las especies más reconocidas y los derivados que se aprovechan de ellas encontramos el *Agave tequilana* (tequila), *Agave angustifolia* (mezcal), *Agave fourcroydes* (henequén), *Agave lechuguilla* (saponinas) y por supuesto, el *Agave salmiana* (Figura 1), conocido por su uso en la extracción de aguamiel y claramente la elaboración de pulque. La riqueza biológica también es reflejo de una estrecha interacción histórica con los pueblos indígenas, quienes han domesticado y manejado selectivamente variedades específicas por milenios (Reyes-Agüero *et al.*, 2019).

Los agaves son fundamentales tanto ecológica como económicamente. En términos ecológicos, contribuyen a la conservación de microorganismos del suelo, reducen la erosión y actúan como refugio y fuente de alimento para algunas especies de fauna, lo que incluye murciélagos polinizadores. Su habilidad para prosperar en condiciones de sequía los convierte en aliados contra la desertificación (Blas-Yáñez y Thomé-Ortiz, 2021).

Desde el punto de vista económico, los agaves sostienen industrias multimillonarias, como las del tequila en Jalisco y mezcal en Oaxaca, Guerrero y Michoacán, estas bebidas artesanales no sólo representan pro-



Figura 1. Maguey (*Agave salmiana*) utilizado en la producción de aguamiel y posterior elaboración de pulque.

ductos gourmet, sino también ofrendas rituales y símbolos de identidad local, además, de ellos se obtienen productos derivados como inulina, saponinas, mieles, papel (Blas-Yáñez y Thomé-Ortiz, 2021). Por otro lado, también son fundamentales en la producción de fibras naturales (como el henequén en Yucatán), bioplásticos, bioenergía y cosméticos. Socialmente, sostienen empleos y fortalecen el turismo rural con rutas del mezcal y el tequila.

Agave pulquero: una planta sagrada

El *Agave salmiana*, conocido como maguey pulquero, tiene un lugar sagrado en la cosmovisión mesoamericana (Figueredo-Urbina *et al.*, 2021). En la mitología mexicana, Mayahuel era la diosa del maguey y madre del pulque, una figura asociada con la fertilidad, la nutrición y la transformación. Su cuerpo se convirtió en planta de agave tras ser destruida por los Tzitzimi-me (espíritus estelares), y de su savia nació el aguamiel. Junto a ella, los Centzon Totochtin —los 400 conejos— representaban los distintos tipos de embriaguez. Eran hijos de Mayahuel y Patecatl, dios de la medicina y la fermentación. Cada conejo simbolizaba un estado emocional derivado del pulque: la alegría, la introspección, la melancolía, la euforia entre otros (Reyes-Agüero *et al.*, 2019).

El pulque y la moral prehispánica

El pulque no era de consumo libre y cotidiano. Esta bebida sólo se les permitía a ancianos, embarazadas, sacerdotes y guerreros destacados. En los códices y crónicas, se relata que los jóvenes que se embriagaban sin autorización eran castigados con severidad: desde azotes hasta la pena de muerte, según la gravedad de la ofensa. Para los mexicanos, emborracharse sin propósito de un ritual era un acto de desequilibrio y una falta contra los dioses. Estas normas no eran moralinas, sino reflejo del profundo respeto por una bebida que conectaba lo humano con lo divino (Reyes-Agüero *et al.*, 2019).

Producción tradicional del pulque

La elaboración del pulque es un arte que requiere mucha paciencia y conocimiento de la planta. Todo comienza cuando el maguey madura, esto sucede tras 8 a 15 años de vida, el agave se “pica” (se retiran las hojas del cogollo o centro de la planta) para formar un cajete o cavidad donde se acumula el aguamiel (Ojeda-Linares *et al.*, 2020).

Este néctar se extrae dos veces al día durante aproximadamente 6 meses con el acocote (recipiente parecido a una calabaza que esta agujerada por ambos

lados para extraer el aguamiel), y se transporta a tinajas donde inicia la fermentación. Un paso esencial para la producción del pulque es la adición de “la semilla”, es decir, un lote de pulque previamente fermentado que activa el proceso microbiano para formar nuevamente el pulque. Este cultivo de bacterias y levaduras transforma el aguamiel en pulque en cuestión de horas o días, según el sabor y consistencia deseada y varía según clima, recipiente y tradición familiar (Ojeda-Linares *et al.*, 2020). Cada comunidad tiene sus secretos. En muchas regiones, aún se fermenta en barricas de madera o tinajas de barro, lo que da sabores únicos.

Pulque en la modernidad

Durante siglos coloniales, el pulque fue desplazado por el vino europeo, aunque sobrevivió su uso y consumo en las zonas rurales. En el siglo XIX, se convirtió en la bebida nacional por excelencia. Trenes pulqueros conectaban Hidalgo con la Ciudad de México, y las “pulquerías” eran centros sociales y políticos. Para el siglo XX su popularidad decayó frente a la cerveza, pero actualmente (siglo XXI) ha resurgido como bebida artesanal (Figura 2), identitaria y alternativa (García-Herrera *et al.*, 2010; Narváez-Suárez *et al.*, 2016). Hoy en día, pulquerías modernas combinan tradición con innovación, ofreciendo una diversidad de sabores como mango, avena, piñón, cacao, frutos, cereales, vino e incluso semillas (Blas-Yáñez *et al.*, 2018).

Beneficios nutricionales del pulque

Más allá del valor simbólico, el pulque es una bebida fermentada con propiedades probióticas. Contiene bacterias lácticas y levaduras que benefician la flora intestinal. Además, aporta: vitaminas del complejo B (especialmente B1 y B12), minerales como fósforo, hierro y calcio, proteínas vegetales y azúcares naturales de lenta absorción (Ojeda-Linares *et al.*, 2020). En algunas regiones del centro de México, se ofrece a mujeres lactantes, niños y ancianos como tónico nu-



Figura 2. Pulque curado de diferentes sabores

tritativo (Villalpando *et al.*, 1993). También se considera un reconstituyente para trabajadores del campo, ideal para acompañar alimentos como barbacoa o tamales.

Importancia del agave pulquero

El agave pulquero es clave en los ecosistemas del altiplano mexicano (Figura 3). Sus raíces profundas evitan la erosión del suelo, presentan un metabolismo CAM (metabolismo ácido de las crasuláceas) lo que lo hace altamente eficiente en el uso de agua, y su presencia favorece la biodiversidad. Además, su aprovechamiento tradicional se realiza sin deforestar, lo que lo convierte en un cultivo amigable con el ambiente (Sandoval-Zapotitla *et al.*, 2024).

El agave pulquero no sólo produce pulque. Sus derivados incluyen también al aguamiel natural (endulzante suave y energético), miel de maguey (alternativa al jarabe de agave), forraje cocido (para ganado en temporadas secas), fibras naturales (para

escobas, cuerdas, artesanías) y larvas comestibles (como el gusano blanco y el rojo). En regiones como Hidalgo, Tlaxcala y Estado de México, miles de familias se benefician del cultivo y transformación del agave pulquero. Existen rutas del pulque, festivales magueyeros, talleres comunitarios y cooperativas que impulsan su valor económico y cultural (Blas-Yáñez y Thomé-Ortiz, 2021).

Conclusión: Un patrimonio ancestral

El agave, y especialmente el agave pulquero, es mucho más que una planta. Es historia viva, alimento, medicina, símbolo, sustento y espíritu. Representa la resistencia de los pueblos originarios, la creatividad de los campesinos y la renovación de una identidad que busca futuro sin olvidar sus raíces.

En tiempos de crisis climática, pérdida de biodiversidad y alienación cultural, el agave nos recuerda que es posible florecer con pocos recursos, resistir al tiempo y transformar la tierra en vida.



Figura 3. Plantación de agave pulquero en el valle de México, en el suelo se observan las piñas de donde es extraído el aguamiel después de un largo proceso de raspado

Referencias

- Blas-Yáñez S., Thomé-Ortiz H., Vizcarra-Bordi I., Espinoza-Ortega A. (2018). Street sale of pulque and sociospatial practices: A gender perspective in central Mexico. *Journal of Ethnic Foods* 5 (4): 311-316. <https://doi.org/10.1016/J.JEF.2018.10.005>.
- Blas-Yáñez S., Thomé-Ortiz H. (2021). Agave pulquero (*Agave salmiana*), socio-economic and agro-ecological importance and its development perspectives: A literature review. *Ciencia Rural* 51(4). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20200441>
- Figueredo-Urbina C., Álvarez-Ríos G., García-Montes M., Octavio-Aguilar P. (2021). Morphological and genetic diversity of traditional varieties of agave in Hidalgo State, Mexico. *PLoS One* 16 (7): e0254376. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254376>.
- García-Herrera J., Méndez G.J., Talavera M.D. (2010). El género *Agave* spp. en México: principales usos de importancia socio-económica y agroecológica. *Salud Pública y Nutrición* 5: 109-129.
- García-Mendoza A., Galván A. (1995). Distribución y diversidad del género *Agave* en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 56: 7-24.
- Narváez-Suárez A., Jiménez Velázquez M., Martínez S.T., Cruz G.B. (2016). Maguey pulquero (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck): Opción para desarrollo rural. *Agroproductividad* 9(10): 56-62.
- Ojeda-Linares C., Vallejo M., Lappe-Oliveras P., Casas A. (2020). Traditional management of microorganisms in fermented beverages from cactus fruits in Mexico: an ethnobiological approach. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 16. <https://doi.org/10.1186/s13002-019-0351-y>.
- Reyes-Agüero J.A., Peña-Valdivia C.B., Aguirre-Rivera J.R., Flores-Rojas K. (2019). Variación intraespecífica de *Agave mapisaga* Trel. y *Agave salmiana* Otto ex Salms-Dyck. (Asparagaceae) relacionada con los usos ancestrales en la región Hñähñu en el centro de México. *Agrociencia* 53: 563-579.
- Sandoval-Zapotitla E., Chávez-Güitrón L.E., Salinas-Perez F. del C., Rosas U., Vallejo-Zamora A. (2024). Anatomical-foiar diversity of *Agave salmiana* subsp. *salmiana* (Asparagaceae) in three populations of the Teotihuacán region (Mexico). *Plants* 13(22): 3195. <https://doi.org/10.3390/plants13223195>.
- Villalpando S., Flores-Huerta S., Fajardo A., Hernández-Beltrán M.J. (1993). Ethanol consumption during pregnancy and lactation. Changes in the nutritional status of predominantly breastfeeding mothers. *Archives of Medical Research* 24(4): 333-338.

Fitohormonas

Alan Avalos

Universidad Autónoma de Nuevo León,
Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Biología Vegetal
Ave. Pedro de Alba s.n., Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L., México. 66455

*Autor para correspondencia: alan.avalosx@uanl.edu.mx

Resumen

Las fitohormonas o también conocidas como hormonas vegetales actúan como mensajeros químicos capaces de regular el crecimiento, desarrollo, defensa y adaptación de las plantas ante factores bióticos y abióticos. Las primeras observaciones fueron por Darwin y su hijo sobre el fototropismo, seguida por los experimentos de Boysen-Jensen y Paál que demostraron la existencia de sustancias móviles responsables de la curvatura vegetal. Además existe una variedad de fitohormonas con distintos funcionamientos las auxinas, que promueven el enraizamiento y la formación de frutos; las giberelinas, relacionadas con la germinación y el alargamiento de tallos y frutos; el etileno, implicado en la maduración y caída de órganos; las citoquininas, promotoras de la división celular; el ácido abscísico, regulador de la dormancia y el estrés; los brasinosteroides, vinculados a la elongación celular; los jasmonatos, que activan defensas químicas, y las estrigolactonas, asociadas a la arquitectura radicular y la simbiosis con micorrizas. No obstante, también se ha descubierto recientemente una nueva fitohormona, siendo Dinor-OPDA en plantas no vasculares. Por último, las fitohormonas han tenido un gran impacto y relevancia la agricultura, la producción de frutos sin semillas, la prolongación de la vida de flores, la agricultura vertical y la biorremediación de suelos contaminados.

Palabras clave

Fitohormonas, hormonas vegetales, crecimiento vegetal, defensa de plantas, regulación hormonal, agricultura moderna, fototropismo.

Abstract

Phytohormones, also known as plant hormones, act as chemical messengers capable of regulating plant growth, development, defense, and adaptation to both biotic and abiotic factors. The

first observations were made by Darwin and his son on phototropism, followed by the experiments of Boysen-Jensen and Paál, which demonstrated the existence of mobile substances responsible for plant curvature. Moreover, there is a wide variety of phytohormones with different functions: auxins, which promote rooting and fruit formation; gibberellins, related to germination and the elongation of stems and fruits; ethylene, involved in ripening and organ abscission; cytokinins, which promote cell division; abscisic acid, a regulator of dormancy and stress; brassinosteroids, associated with cell elongation; jasmonates, which activate chemical defenses; and strigolactones, linked to root architecture and symbiosis with mycorrhizal fungi. Recently, a new phytohormone has also been discovered, Dinor-OPDA, present in non-vascular plants. Finally, phytohormones have had a major impact and relevance in agriculture, including the production of seedless fruits, the extension of flower longevity, vertical farming, and the bioremediation of contaminated soils.

Keywords

Phytohormones, plant hormones, plant growth, plant defense, hormonal regulation, modern agriculture, phototropism.

Las fitohormonas, también conocidas como hormonas vegetales, sustancias químicas producidas naturalmente por las plantas, forman parte del fascinante espectáculo de la vida vegetal, estas se caracterizan por ser consideradas como mensajeros químicos que permiten a las plantas tomar “decisiones” sin tener un cerebro, como es regular su crecimiento, su desarrollo e incluso una forma de responder ante el ambiente, estas sustancias son las encargadas de transformar una simple y diminuta semilla en un majestuoso árbol, también les ayudan a las plantas a

“saber” cuándo florecer o defenderse de los depredadores, porque sí, son capaces de defenderse de los depredadores, pero no nos adelantemos, volvamos al inicio de todo, su descubrimiento.

Los primeros indicios sobre la existencia de las fitohormonas comenzaron con una simple observación en donde las plantas y como estas “buscaban” la luz solar, a este fenómeno se le llamó fototropismo, que es un efecto producido por las fitohormonas, que se puede observar en los girasoles, los cuales hacen esa “danza” lenta, pero impresionante de seguir al sol de este a oeste. En 1880, Charles Darwin (sí, el mismo de la teoría de la evolución) y su hijo Francis publicaron “The Power of Movement in Plants” artículo donde documentaron un experimento crucial. Notaron que cuando las plántulas de césped estaban expuestas a la luz lateral, estas se curvaban hacia ella (Figura 1), pero lo verdaderamente revolucionario fue descubrir que, si cubrían la punta del brote, la plántula ya no respondía a la luz pese a estar el resto del tallo iluminado (Figura 2). Ante esto, Darwin concluyó una intuición brillante: “Podemos inferir que cuando las plántulas están expuestas a la luz lateral, alguna influencia es transmitida desde la parte superior a la inferior, causando que esta última se curve.”

Entre 1907 y 1913, otros investigadores, como Boysen-Jensen y Arpad Paál desarrollaron experimentos ingeniosos para comprender esto: Boysen realizó mutilaciones a las puntas de los brotes y las volvió a colocar con una pequeña barrera entre ellas y el resto del tallo, pudo observar que, al utilizar una mica impermeable, el efecto de movimiento desaparecía, pero cuando utilizó una gelatina permeable, dicho efecto continuaba (Figura 3).

Por su parte, Arpad Paál, demostró que, si colocaba la punta cortada de forma asimétrica sobre el tallo decapitado, la planta se curvaba alejándose del lado donde estaba la punta. Estas interesantes observaciones sugerían que alguna sustancia química se desplazaba desde la punta hasta la base.

Otros investigadores en años posteriores realizaron hallazgos importantes como los siguientes:

En 1920, científicos japoneses investigaban una enfermedad en las plantas de arroz, dicha enfermedad se le dio el nombre de “bakanae” (que se refería a una plántula tonta), ya que esta enfermedad causada por el hongo *Fusarium proliferatum* provocaba

distintas alteraciones en el desarrollo de las plantas, como es un crecimiento anormalmente alto con hojas pálidas y delgadas, aparición de manchas de color marrón en el tallo, raíces nuevas emergiendo desde nodos altos (punto donde surgen las hojas), entre muchas anomalías más. No fue hasta 1935 que Tejiro Yabuta logró aislar la sustancia del hongo que causaba este desarrollo anormal en las plantas, a dicha sustancia se le llamó **giberelina**, una de las primeras fitohormonas en conocerse.

Por otra parte, mientras los científicos japoneses investigaban dicho hongo en las plantas de arroz, los agricultores chinos decidieron optar por medidas menos cautelosas, incineraban incienso para aterrorizar a las plantas y también para madurar peras, fue en el año 1934 cuando Rober Gane tras investigar esta forma tan peculiar de intimidar plantas, reconoció el **etileno** como una hormona vegetal gaseosa, capaz de difundirse rápidamente a través de los tejidos vegetales e iniciar respuestas fisiológicas con cantidades mínimas. Si bien el Dr. Herbert Henry Cousins ya especulaba su existencia en 1910 mediante observaciones e influencia en el crecimiento de las plantas, no fue hasta la contribución clave de Gane (y los chinos) que se logró un entendimiento más claro respecto a la producción endógena del Etileno, siendo el etileno el principal responsable de la maduración de los frutos, así como de su caída.

Posteriormente, Skoog y Miller (1955) al investigar factores que promovían el movimiento de la división celular en cultivos de tejidos vegetales, lograron aislar una sustancia del ADN del esperma de arenque que estimulaba la división celular, dicha sustancia se denominó **citocinina**, fitohormona encargada de fomentar la producción de hojas nuevas, hacer que crezcan los tallos e incluso capaz de retrasar la senescencia.

Si bien, algunas fitohormonas son descubiertas por uno o más investigadores, el caso del **ácido abscísico** (ABA) es diferente, este fue identificado independientemente no

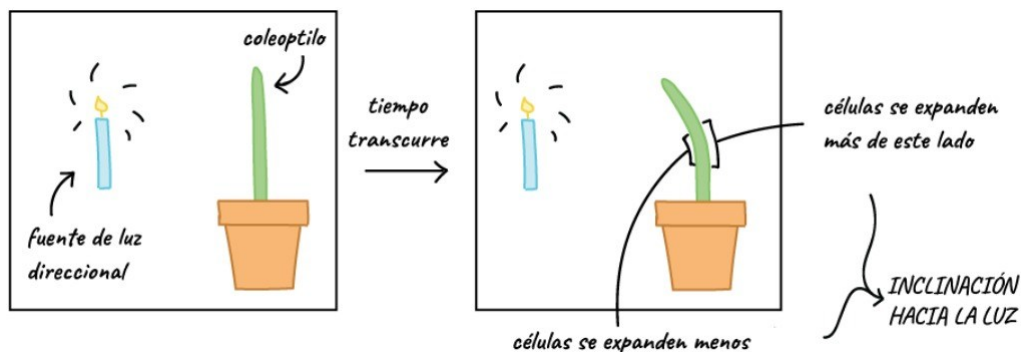


Figura 1. Efecto del fototropismo positivo de una planta, que es el efecto de inclinarse a favor de una fuente de luz (Figuerola et al., 2017).

en uno, ni dos, sino en tres laboratorios en los años 60's, investigando la latencia en semillas (que es el equivalente botánico de los osos que hibernan). Esta fitohormona es capaz de regular varios procesos metabólicos en las plantas, siendo capaz de inhibir la germinación de la semilla hasta que las condiciones sean favorables y también es crucial para la adaptación de las plantas a condiciones adversas, regulando procesos de crecimiento de raíces y la senescencia (una manera elegante y sofisticada de referirse al envejecimiento de las plantas).

Una fitohormona considerada única debido a su estructura química, fue identificada en 1979 por Mitchell, investigador estadounidense, quien descubrió que esta hormona es importante para la elongación celular, que se traduce en un crecimiento más robusto de las plantas, esta hormona también es capaz de interactuar con otras fitohormonas formando sinergias para regular una variedad de procesos en las plantas, además de ayudar a las plantas a adaptarse y enfrentarse a sustancias estresantes. Estas fitohormonas fueron denominada **brasinosteroides**.

Otra fitohormona descubierta en 1990 y nombrada como **jasmonatos**, fue descubierta por un grupo de científicos que trabajaban con aceite de jazmín de la planta *Jasminum grandiflorum*, lo que los encaminó al descubrimiento de la estructura molecular de los Jasmonatos, se podría decir que, por accidente, ya que los científicos querían conocer por qué el jazmín olía tan rico. Es la fitohormona encargada principalmente de la defensa de la planta, ya que esta activa respuestas de defensa cuando las plantas son dañadas por animales, insectos o patógenos, dichas defensas consisten principalmente en la producción y liberación de compuestos químicos para ahuyentar a los

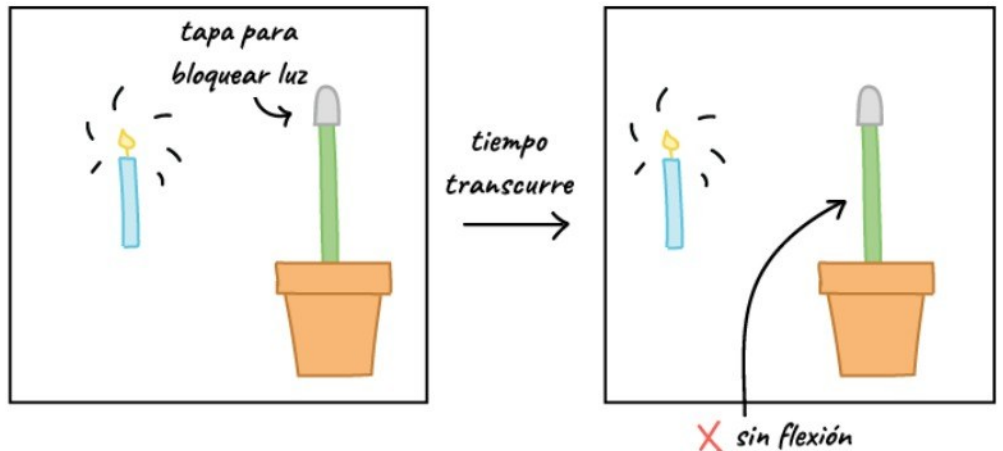


Figura 2. Nula inclinación de la planta ante el recubrimiento de la punta pese al recibimiento de luz en el resto del tallo (Figuerola et al., 2017).

herbívoros e incluso oler bien para atraer depredadores de los herbívoros (esto también aplica para los insectos). Además, libera compuestos volátiles que avisan de forma temprana a las plantas cercanas del peligro, y les da tiempo para preparar sus defensas ante una posible amenaza.

La clase más recientemente de fitohormonas, las **estrigo-lactonas**, identificadas como hormona vegetal en el 2008 por Bouwmeester y Beveridge, quienes averiguaron que esta fitohormona se produce únicamente a partir de carotenoides, que es un tipo de pigmento encontrado en las plantas, cumpliendo el papel crucial de comunicación entre la planta y su entorno. Una de las principales funciones de esta fitohormona es inhibir la formación de yemas laterales, lo que ayuda a un crecimiento más vertical, también cuentan con una simbiosis con micorrizas, esto al fomentar asociaciones simbióticas con hongos micorrícicos, lo que favorece una mejor absorción de nutrientes. También tiene la función de regular el desarrollo radicular y estimular la formación de raíces adventicias, las cuales son las encargadas de absorber agua y nutrientes del suelo.

Si bien la investigación de nuevas fitohormonas no ha ce-

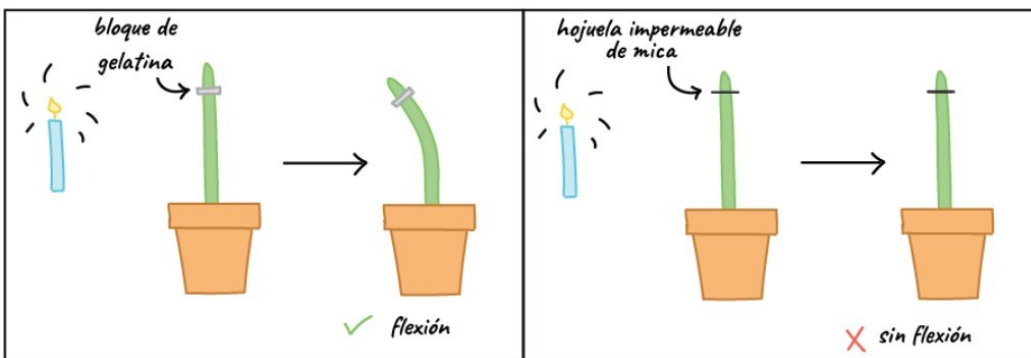


Figura 3. Pese al corte, hay una flexión de la planta siempre y cuando el paso de luz sea posible, mientras que su bloqueo o ausencia anula este efecto (Figuerola et al., 2017).

sado, siendo la más reciente la **Di-nor-OPDA** como una nueva fitohormona que permite a las plantas no vasculares (como las briofitas), defenderse de agresiones externas (muy similar a los jasmonatos), esto mediante la activación de mecanismos similares a las plantas vasculares, las cuales utilizan jasmonatos. Hoy en día gran parte del esfuerzo dedicado a las fitohormonas se ha inclinado más

a sus aplicaciones prácticas, principalmente en el sector agrícola.

La revolución de las fitohormonas en la agricultura moderna se basa en “programar” a las plantas para que crezcan más rápido, produzcan mayor cantidad de frutos e incluso resistan mejor a las sequías, esto es logrado gracias a las **auxinas**, ya que se utiliza auxinas sintéticas en los viveros, para que los esquejes desarrollen raíces más rápido, aumentando su propagación, también se ha logrado que las auxinas puedan inducir la formación de frutos sin semillas, por ejemplo brindándonos deliciosas uvas y sandías, los cuales pueden disfrutarse sin preocuparse por las semillas. Por su parte, las giberelinas que se utilizan para acelerar la germinación, también son usadas para aumentar el tamaño de los frutos individuales, alargar los racimos para una mayor producción e incluso inhibe la formación de semillas en las uvas grandes y dulces.

También se ha descubierto que el etileno es el responsable de acelerar la maduración de las frutas, esto se puede observar en plátanos y manzanas, debido a que cuando una manzana alcanza su madurez, y estimula a las que están a su alrededor, por lo que se han creado almacenes especializados para inhibir la liberación del etileno y que los frutos tengan más vida de anaquel.

Otra manera en que los investigadores han logrado aplicar a mayor escala las fitohormonas ha sido en los sistemas de agricultura vertical, utilizando cocteles precisos de fitohormonas para maximizar el crecimiento en espacios reducidos, mejorar la calidad nutricional de los vegetales, además de acelerar los ciclos de cosecha. También se han utilizado fitohormonas en la biorremediación, por ejemplo, al utilizar auxinas para estimular el crecimiento de raíces en plantas que absorben contaminantes del suelo.

Pero, probablemente te has preguntado, si ¿las fitohormonas/hormonas vegetales tienen alguna similitud con las hormonas animales? Tanto plantas como animales “resolvieron” el problema de la comunicación celular a larga distancia, pero lo hicieron de maneras que reflejan perfectamente sus estilos de vida. Los animales desarrollaron sistemas rápidos y específicos para la acción inmediata, mientras que las plantas desarrollaron sistemas versátiles y graduales para la adaptación a largo plazo, ambos sumamente eficientes y acordes a su estilo de vida.

Por último, existe una gran diversidad de estudios en los que se ha descubierto que la combinación de una o varias fitohormonas puede producir resultados interesantes,

pero en algunos casos pudieran ser cuestionables, por ejemplo, el uso excesivo de Auxinas y Giberelinas en la calabaza, para que esta pueda alcanzar hasta 20 kilogramos por día durante su pico de crecimiento. Por otra parte, se sabe que las citocininas se utilizan en las flores cortadas, prolongándoles su “vida” por semanas e incluso meses. Las citocininas también siguen ritmos circadianos, pudiéndole hacer “saber” a la planta que hora es, lo que ayuda a la producción de hormonas. Posiblemente has escuchado hablar sobre “La paradoja del tamaño”, esto hace referencia a que las mismas fitohormonas que fomentan el crecimiento de las flores, pueden hacer crecer un árbol de hasta 100 metros, como es el caso de las sequoyas, es decir, utilizan las mismas moléculas básicas. Este tipo de investigaciones no solo muestran el mundo químico sofisticado y dinámico en el que viven las plantas, sino que también resaltan lo fascinante de como las fitohormonas orquestan la vida vegetal.

Referencias

- Balada F. (2021). Qué son las hormonas vegetales y cómo se clasifican. Ciencias Naturales.
- Borjas-Ventura R., Julca-Otiniano A., Alvarado-Huamán L. (2020). Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. *Journal of the Selva Andina Biosphere* 8(2): 150-164.
- Fichet L.T. (2020). Guía de estudio de hormonas vegetales. Departamento de Cultivo Vegetal.
- Fichet Lagos T. (S.F.). Fitohormonas y reguladores del crecimiento vegetal. Intagri S.C. Departamento de Cultivo Vegetal.
- Figuerola I., Kane E., Queirolo J., Northard C., Spence S., Lehman A., Stenoien C., Larry J., Nioi P. (2017). Fototropismo y fotoperiodicidad, *Biología vegetal*.
- Hernández-Domínguez E.M., Álvarez-Cervantes J., López-Vázquez E., Asunción-Cruz E., Villa-Torres J.A. (2021). Función, identificación e importancia de fitohormonas: una revisión. *Biotecnología Vegetal* 21(4): 178-192.
- Jácome R.A. (2009). Historia de las hormonas. *Medicina* 31 (1).
- Jácome R.A. (2007). Historia de las hormonas. Academia Nacional de Medicina.
- Redagráfica. (2017). Fitohormonas: reguladores de crecimiento y bioestimulantes. Redagráfica.
- William M.G.G. (2004). Regulación hormonal del crecimiento y desarrollo vegetal. *Biol.* 2(9).
- Zacaría C.C., Covián N.J.F. (2024). Hormonas en las plantas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Zárate A., Saucedo R. (2005). El centenario de las hormonas: Un recuerdo de Ernest H. Starling y William M. Bayliss. *Gaceta Médica de México* 141(5).

Efecto de Florus[®] y Boost[®] en la Productividad y Calidad del Cultivo de Naranja Valencia

L.A. Sumuano-Barragán¹, F. Flores-García¹ y D.M. Garza-García^{2*}

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía
Av. Francisco I. Madero S/N, Ex Hacienda el Canadá, 66050. General Escobedo, N.L. México

²Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas
Av. Pedro de Alba s/n, Cd. Universitaria, 66455. San Nicolás de los Garza, N.L. México.

*Autor para correspondencia: misael.garzagr@uanl.edu.mx

Resumen

Las microalgas son microorganismos fotosintéticos de gran interés biotecnológico debido a su capacidad para sintetizar compuestos de alto valor, como aminoácidos, polisacáridos, vitaminas, antioxidantes y promotores naturales del crecimiento vegetal. Este estudio evaluó el efecto de los bioestimulantes a base de microalgas FLORUS[®] y BOOST[®] en la productividad y calidad del fruto de la naranja Valencia (*Citrus sinensis*) en un huerto comercial ubicado en Linares, Nuevo León, México. Se aplicaron tres tratamientos con distintas combinaciones y concentraciones de los bioestimulantes, comparándose con un testigo sin tratamiento. Las variables evaluadas incluyeron el número total de frutos, el rendimiento estimado por hectárea, la tasa de aborto de frutos y el diámetro del fruto. Los resultados mostraron que la combinación FLORUS[®] + BOOST[®] en una proporción 2:1 incrementó el rendimiento en un 76% y redujo el aborto de frutos en un 75% en comparación con el testigo, sin afectar el tamaño final del fruto. Estos hallazgos sugieren que los metabolitos activos presentes en las microalgas influyen positivamente en los procesos reproductivos y fisiológicos del cultivo. La formulación combinada representa una estrategia biotecnológica prometedora para aumentar la eficiencia y sostenibilidad de la citricultura, especialmente en regiones afectadas por el estrés climático.

Palabras clave: Microalgas, bioestimulante, agricultura, Naranja

Abstract

Microalgae are photosynthetic microorganisms of great biotechnological interest due to their ability to synthesize

high-value compounds such as amino acids, polysaccharides, vitamins, antioxidants, and natural plant growth promoters. This study evaluated the effect of the microalgae-based biostimulants FLORUS[®] and BOOST[®] on the productivity and fruit quality of Valencia orange (*Citrus sinensis*) in a commercial orchard located in Linares, Nuevo León, Mexico. Three treatments with different combinations and concentrations of the biostimulants were applied and compared to an untreated control. Evaluated variables included total fruit count, estimated yield per hectare, fruit abortion rate, and fruit diameter. Results showed that the FLORUS[®] + BOOST[®] combination in a 2:1 ratio increased yield by 76% and reduced fruit abortion by 75% compared to the control, without affecting final fruit size. These findings suggest that the active metabolites in microalgae positively influence key physiological and reproductive processes in the crop. The combined formulation emerges as a promising biotechnological strategy to enhance the efficiency and sustainability of citrus production, especially in regions affected by climatic stress.

Key words: Microalgae, biostimulant, agriculture, orange

Introducción

Uno de los principales retos en la actualidad para la humanidad es garantizar la seguridad alimentaria. Se estima que para el año 2030, la hambruna podría agravarse debido a las condiciones climáticas extremas (Varzakas & Smaoui, 2024). Esta situación es aún más crítica debido a la creciente limitación de recur-

sos naturales disponibles para la producción agrícola. En los sistemas agrícolas convencionales, el uso intensivo de fertilizantes sintéticos para el incremento de los rendimientos agrícolas ya no representa una opción viable ambiental ni económica; debido a que el uso excesivo de fertilizantes genera daños sustanciales en la estructura fisicoquímica del suelo, disminución de las poblaciones de microorganismos benéficos, pérdida de fertilidad y acumulación de contaminantes como metales pesados (Pahalvi *et al.*, 2021). Ante este panorama, el uso de bioestimulantes se presenta como una alternativa innovadora para impulsar la productividad agrícola de forma más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Dentro de esta categoría, los bioestimulantes formulados a partir de microalgas sobresalen debido a su riqueza en compuestos bioactivos como aminoácidos, polisacáridos, fitorreguladores, vitaminas y antioxidantes, los cuales promueven una mejor floración y fortalecen a los cultivos frente a factores de estrés biótico y abiótico (González-Pérez *et al.*, 2021). Frente a este escenario, los bioestimulantes a base de microalgas surgen como una estrategia innovadora para incrementar la productividad agrícola de manera más limpia y sostenible.

Actualmente, la naranja Valencia representa uno de los cultivos de mayor importancia económica en México, especialmente en regiones como Veracruz, Nuevo León y Tamaulipas, siendo un pilar en la industria citrícola nacional tanto para consumo fresco como para exportación (Martínez-Jiménez *et al.*, 2020). No obstante, el cultivo enfrenta retos importantes relacionados con el cambio climático, el estrés hídrico, la presencia creciente de plagas y la degradación de los suelos. En el presente estudio se evaluó el impacto de la aplicación foliar de los bioestimulantes FLORUS® y BOOST®, desarrollados por GEXUS®, empresa de agrobiotecnología reconocida como líder en el uso y aplicación de microalgas en el sector agrícola (Miranda *et al.*, 2024). El objetivo fue analizar el efecto de estos bioestimulantes en el incremento del rendimiento de la naranja Valencia en el municipio

de Linares, Nuevo León, México, como una estrategia innovadora para fortalecer la productividad y la resiliencia del cultivo frente a los desafíos ambientales actuales.

Material y métodos

Localización

El presente estudio se llevó a cabo en la huerta “San José” ubicada en el municipio de Linares, Nuevo León, México. Esta región se sitúa en una zona de clima semiárido cálido, con veranos calurosos con temperaturas que llegan a superar los 40°C, mientras que en invierno las temperaturas llegan a descender a 5°C. La mayor parte de las lluvias ocurre entre junio y septiembre, generalmente en forma de tormentas breves e intensas, durante julio y agosto se presenta la canícula, un periodo especialmente caluroso y seco.

Las evaluaciones del ensayo se realizaron en tres fechas distintas: 16 de mayo, 17 de julio y 22 de septiembre del año 2024, con el objetivo de monitorear los efectos de los tratamientos en diferentes etapas del desarrollo del fruto.

Datos del cultivo

El ensayo se desarrolló en árboles de cítricos (*Citrus sinensis*) de la variedad valencia. Los árboles evaluados tienen una edad promedio de 15 años y una densidad de población de 357 árboles por hectárea.

Tratamiento

Los tratamientos consistieron en la aplicación de los productos FLORUS® y BOOST®, desarrollados por la empresa GEXUS®. FLORUS® es un inductor de floración, mientras que BOOST® es un activador del sistema de resistencia sistémica adquirida (SAR, por sus siglas en inglés), formulados a base de microalgas. La tabla 1 presenta la dosificación específica de cada tratamiento, así como la frecuencia de aplicación durante el ciclo evaluado.

Tabla 1. Tratamientos aplicados de los bioestimulantes a base de microalgas FLORUS® y BOOST®

Tratamiento	Fecha de aplicación	Dosis	Producto
Tratamiento 1	21 de febrero	1L/H	FLORUS®
	27 de marzo	1L/H	FLORUS®
	16 de junio	1L/H	BOOST®
	21 de febrero	1L/H	BOOST®
	27 de marzo	1L/H	BOOST®
Tratamiento 2	21 de febrero	1L/H	BOOST®
	27 de marzo	1L/H	BOOST®
	16 de junio	1L/H	BOOST®
Tratamiento 3	21 de febrero	1L/H	FLORUS®
	27 de marzo	1L/H	FLORUS®
	16 de junio	1L/H	BOOST®

Diseño experimental y toma de datos

Para la evaluación, se seleccionaron de forma aleatoria tres árboles por tratamiento, utilizando una distribución basada en números aleatorios con el fin de evitar sesgos. En cada árbol, las mediciones se realizaron en cuadrantes espaciales (Norte, Sur, Este y Oeste), cada uno con un tamaño de 1 m², considerando un árbol por cuadrante y una repetición. Esta distribución permitió reducir el sesgo asociado a la variabilidad espacial dentro del mismo árbol y obtener una representación integral del comportamiento de cada tratamiento en el árbol completo.

Evaluación de variables agronómicas

Se llevaron a cabo conteos del número total de frutos por árbol, así como mediciones del diámetro de fruto. Estas evaluaciones se realizaron manualmente con el apoyo de un flexómetro de bolsillo Truper®. Las mediciones por cuadrante fueron promediadas para obtener un valor representativo por árbol y tratamiento.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos del número de frutos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) con el objetivo de determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo. Para

identificar específicamente entre qué grupos existieron diferencias, se aplicó una prueba post-hoc de comparación múltiple Tukey HSD con un nivel de significancia del 5% ($p < 0.05$).

Resultados y discusión

Incremento en la fructificación

Los resultados presentados en la tabla 2 muestran el impacto en el número de frutos obtenidos a partir de la aplicación de los bioestimulantes a base de microalgas FLORUS® y BOOST® en las áreas tratadas (Figura 1).

Los tratamientos con los bioestimulantes mostraron un mayor número de frutos en todas las fechas de evaluación. En particular, el tratamiento 3 (2L FLORUS® + 1L BOOST®) presentó el promedio más alto con 162 frutos, frente a 94 frutos en promedio en el testigo, con una diferencia altamente significativa ($p = 0.001$), lo que representa un incremento del 76% respecto al testigo. Este incremento productivo fue consistente en las tres fechas de evaluación. Este aumento significativo sugiere que la combinación específica de ambos bioestimulantes a base de microalgas favorece la formación y desarrollo de frutos, posiblemente debido a una mejora en los procesos fisiológicos relacionados con la floración y el cuajado, así co-

Tabla 2. Número de frutos totales de cada tratamiento.

Fecha	Número de frutos del Tratamiento 1	Número de frutos del Tratamiento 2	Número de frutos del Tratamiento 3	Número de frutos del testigo
17 de mayo	121	138	163	99
24 de julio	114	135	161	92
25 de septiembre	114	134	161	91
Litros aplicados	3L de FLORUS© 2L de BOOST©	3L de BOOST©	2L FLORUS© 1L de BOOST©	0

mo a una mayor eficiencia en el uso de recursos (Colla & Rouphael, 2020).

En contraste con los demás tratamientos (Figura 2), el Tratamiento 2 (3L de BOOST©) registró un incremento del 47 % en el número de frutos, con un promedio de 136 frutos por planta. Por su parte, el Tratamiento 1 (3L de FLORUS© + 2L de BOOST©) mostró un aumento del 25%, alcanzando un promedio de 116 frutos. Además, el análisis de comparaciones múltiples (Tukey HSD) reveló diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo. Estos resultados sugieren que podría existir una proporción óptima en la combinación de ambos bioestimulantes.

La producción total del cultivo reflejó estos mismos patrones, para la estimación del tonelaje se estimó un peso promedio por fruto de 188g. En la tabla 3, se muestran los árboles tratados con la combinación de FLORUS© y BOOST© (Tratamiento 3) alcanzaron una producción de 10,805 kg por hectárea, superando en 76% al testigo (6,107 kg). Este resultado evidencia la sinergia entre ambos bioestimulantes a base de microalgas en la proporción 2:1, los cuales optimizan el rendimiento final del cultivo. Por su parte, el Trata-

miento 2 produjo 8,993 kg (47% más que el testigo) y el Tratamiento 1 alcanzó 7,651 kg (25% superior al testigo). López-Padrón y Martínez-González (2020) documentan que los bioestimulantes algales no solo incrementan el rendimiento, sino que contribuyen a la resiliencia del cultivo frente al estrés climático, lo que podría explicar el comportamiento observado en condiciones semiáridas presentes en el municipio de Linares, Nuevo León.

En cuanto al aborto de frutos, se observó que el Tratamiento 3 logró reducir este fenómeno en un 75% respecto al testigo, seguido por el Tratamiento 2 (50% menos aborto) y el Tratamiento 1 (12.5% menos aborto). Esta reducción en el aborto de frutos puede estar asociada a una mejor distribución de recursos hacia los órganos reproductivos y a una mayor resistencia al estrés ambiental durante las etapas críticas de desarrollo.

El tratamiento 3 ha demostrado ser el más efectivo para mejorar sustancialmente el rendimiento del cultivo evaluado. El aumento del 76% en la producción total, junto con la reducción del 75% en el aborto de frutos, sugiere que la combinación de FLORUS© y



Figura 1. Vista aérea de las áreas de aplicación foliar; (a) tratamiento 1; (b) tratamiento 2 y (c) tratamiento 3

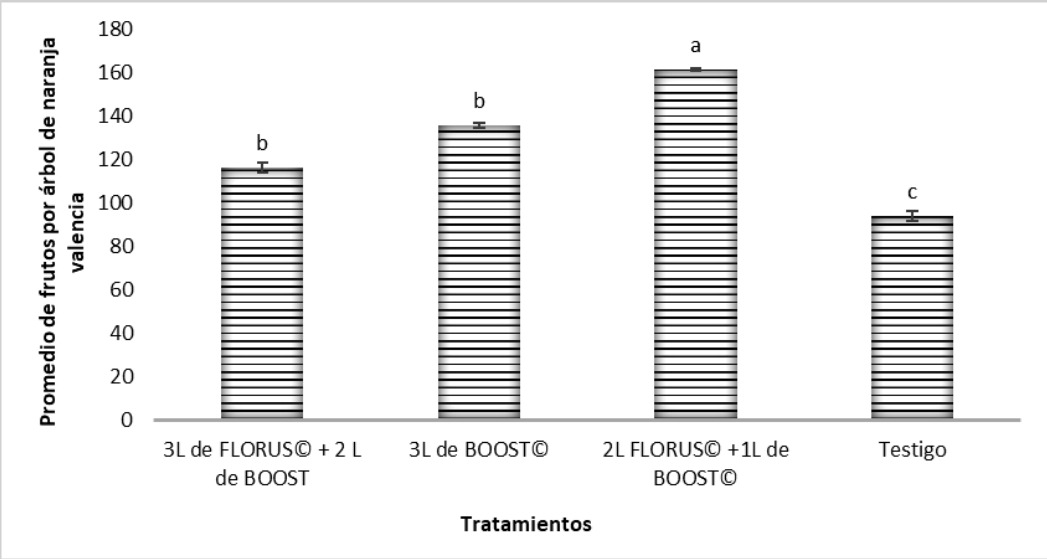


Figura 2. Efecto de los tratamientos con bioestimulantes a base de microalgas sobre el número promedio de frutos por árbol en naranja valencia.

BOOST® así como su respectiva dosificación puede ser una herramienta valiosa para los agricultores que buscan maximizar la productividad de sus cultivos. La consistencia de estos resultados a lo largo del ciclo de evaluación (de mayo a septiembre) refuerza la confiabilidad de los tratamientos. Estos hallazgos son concordantes con investigaciones previas que han demostrado la capacidad de los bioestimulantes a base de microalgas para mejorar los parámetros productivos en diversos cultivos (Prisa & Spagnuolo, 2023; Ronga *et al.*, 2019).

Los resultados evidencian que la aplicación adecuada de bioestimulantes, en las proporciones correctas, puede ser una estrategia efectiva para aumentar la productividad agrícola (Bello *et al.*, 2021). La ligera diferencia en efectividad entre los tratamientos no evidencia un impacto negativo significativo y puede ser considerada dentro de las variaciones normales

de respuesta a los bioestimulantes.

Los resultados obtenidos relacionados al diámetro de los frutos presentan un comportamiento particular cuando se comparan con los marcados efectos observados en los parámetros de producción (tabla 4).

A lo largo del ciclo de evaluación, no se detectaron diferencias significativas en el diámetro entre los distintos tratamientos y el testigo. Durante la primera medición realizada el

16 de mayo, se registraron variaciones menores entre los tratamientos, siendo de 2.15 cm para el Tratamiento 1 y de 1.78 cm para el testigo. Sin embargo, estas diferencias iniciales se fueron atenuando progresivamente a medida que avanzó el ciclo del cultivo, hasta alcanzar valores prácticamente equivalentes en la cosecha final del 23 de septiembre, donde todos los tratamientos mostraron diámetros similares que oscilaron entre 6.73 y 6.88 cm.

La ausencia de variaciones significativas en el diámetro de los frutos sugiere que el mecanismo de acción de los bioestimulantes FLORUS® y BOOST® evaluados se encuentra más relacionado con la mejora de los parámetros reproductivos, como el número de frutos, que con la modificación de características morfológicas como el tamaño.

Finalmente, desde el punto de vista agronómico, estos resultados son relevantes porque indican que la

Tabla 3. Predicción de cosecha de cada uno de los tratamientos.

Fecha	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Testigo
Total	7,651 kg	8,993 kg	10,805 kg	6,107 kg
Litros aplicados	3L de FLORUS® 2L de BOOST®	3L de BOOST®	2L FLORUS® 1L de BOOST®	0

Tabla 4. Diámetro del fruto de cada uno de los tres tratamientos.

Fecha	Diámetro del Tratamiento 1	Diámetro del Tratamiento 2	Diámetro del tratamiento 3	Diámetro del testigo
16 de mayo	2.15 cm	1.45 cm	2.0 cm	1.78 cm
17 de julio	4.55 cm	4.7 cm	4.8 cm	4.73 cm
23 de septiembre	6.73 cm	6.88 cm	6.78 cm	6.85 cm

calidad comercial de los frutos, asociada a su tamaño, se mantiene constante independientemente del tratamiento aplicado, lo que garantiza la uniformidad del producto final mientras se obtienen mejoras significativas en otros aspectos del rendimiento.

Conclusiones

Los resultados de este estudio evidencian que la aplicación conjunta de bioestimulantes a base de microalgas FLORUS® y BOOST® en una proporción 2:1 representa una estrategia agronómica eficaz para incrementar significativamente la productividad de la naranja Valencia bajo condiciones semiáridas. El tratamiento combinado logró un aumento del 76% en la producción total de frutos y una reducción del 75% en el aborto, sin comprometer el diámetro final del fruto. Este efecto sinérgico podría estar relacionado con la acción conjunta de fitohormonas, aminoácidos y compuestos bioactivos presentes en los extractos de microalgas, que favorecen procesos clave como la floración, el cuajado y la resistencia al estrés ambiental. La estabilidad de estos resultados a lo largo del ciclo productivo resalta el valor de los bioestimulantes como herramientas sostenibles en citricultura.

Agradecimientos

Especial agradecimiento al Ingeniero Agrónomo Fito-tecnista Mario Alberto Vasquez Flores perteneciente al Fondo de aseguramiento agrícola Citricultores de Nuevo León por su participación en la evaluación y recopilación de datos.

Referencias

- Varzakas, T., & Smaoui, S. (2024). Global food security and sustainability issues: The road to 2030 from nutrition and sustainable healthy diets to food systems change, *Foods* (Basel, Switzerland), 13(2). <https://doi.org/10.3390/foods13020306>
- Pahalvi, H. N., Rafiya, L., Rashid, S., Nisar, B., & Kamili, A.N. (2021). Chemical fertilizers and their impact on soil health. In *Microbiota and Biofertilizers*, Vol 2 (pp. 1–20). Springer International Publishing.
- González-Pérez, B.K., Rivas-Castillo, A.M., Valdez-Calderón, A., & Gayosso-Morales, M.A. (2021). Microalgae as biostimulants: a new approach in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 38(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03192-2>
- Martínez-Jiménez, A., García-Salazar, J. A., García-de los Santos, G., Ramírez-Valverde, G., Mora-Flores, J.S., & Matus-Gardea, J.A. (2020). Control de la Oferta de Naranja en México como Mecanismo para Controlar Volatilidad de Precios. *Revista Fito-tecnia Mexicana*, 43(2), 223. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.2.223>
- López-Padrón, I., & Martínez-González, L. (2020). Las algas y sus usos en la agricultura: una visión actualizada. *Cultivos Tropicales*, 41(2), e10.
- Miranda, A.M., Hernandez-Tenorio, F., Villalta, F., Vargas, G.J., & Sáez, A.A. (2024). Advances in the development of biofertilizers and biostimulants from microalgae. *Biology*, 13(3), 199. <https://doi.org/10.3390/biology13030199>
- Colla, G., & Rouphael, Y. (2020). Microalgae: New source of plant biostimulants. *Agronomy* (Basel, Switzerland), 10(9), 1240. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091240>
- Prisa, D., & Spagnuolo, D. (2023). Plant production with microalgal biostimulants. *Horticulturae*, 9(7), 829. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9070829>
- Ronga, D., Biazzi, E., Parati, K., Carminati, D., Carminati, E., & Tava, A. (2019). Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions. *Agronomy* (Basel, Switzerland), 9(4), 192. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040192>
- Bello, A. S., Saadaoui, I., & Ben-Hamadou, R. (2021). “beyond the source of bioenergy”: Microalgae in modern agriculture as a biostimulant, biofertilizer, and anti-antibiotic stress. *Agronomy* (Basel, Switzerland), 11(8), 1610. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081610>

Selaginella subg. *Lepidophyllae*, Descripción y Clave para su Identificación

Adrián González-Martínez^{1,2*} y Susana Favela-Lara³

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas,

¹Laboratorio de Biología de la Conservación y Desarrollo Sostenible-Laboratorio de Paleobiología.

²Flora de Nuevo León (@floradenuvoleon).

³Laboratorio de Ecología Molecular.

Ave. de los Rectores s/n, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L. México. 66455.

*Autor para correspondencia: adrian.gonzalezmtz@uanl.edu.mx

Resumen

El género *Selaginella* P.Beauv. es uno de los más antiguos y diversos entre las Licófitas. Desde las primeras descripciones formales de sus especies, se han propuesto distintas clasificaciones subgenéricas con base en caracteres morfológicos y, en décadas recientes, datos genéticos y moleculares. *Selaginella* subg. *Lepidophyllae* (Li Bing Zhang & X.M.Zhou) Weststrand & Korall es caracterizado por sus rosetas aplanadas y de textura coriácea, y son plantas que habitan en zonas rocosas y áridas en los desiertos Chihuahuense, Sonorense y sus ecosistemas adyacentes. En su sentido estricto, el subgénero está compuesto por tres especies *Selaginella lepidophylla* (Hook. & Grev.) Spring, *S. novoleonensis* Hieron., y *S. ribae* Valdespino. La especie *S. novoleonensis* es la que más difiere morfológicamente entre las tres, mientras que las diferencias morfológicas entre *S. lepidophylla* y *S. ribae* son escasas; comparten en gran medida sus preferencias de hábitat y crecen simpátricamente en buena parte de su rango. Para este estudio se realizó una descripción a nivel subgenérico y con una clave para la determinación de las especies de estudio.

Palabras clave: selaginela, Licofitas, descripción

Abstract

The genus *Selaginella* P. Beauv. is one of the oldest and most diverse among lycophytes. Since the first formal descriptions of its species, various subgeneric classifications have been proposed based on morphological characters and, in recent decades, genetic and molecular data. *Sela-*

ginella subg. *Lepidophyllae* (Li Bing Zhang & X.M. Zhou) Weststrand & Korall is characterized by its flattened, leathery-textured rosettes. It inhabits rocky and arid areas in the Chihuahuan and Sonoran deserts and their adjacent ecosystems. In its strict sense, the subgenus is comprised of three species *Selaginella lepidophylla* (Hook. & Grev.) Spring, *S. novoleonensis* Hieron., and *S. ribae* Valdespino. Among these, *S. novoleonensis* differs the most morphologically, whereas the morphological differences between *S. lepidophylla* and *S. ribae* are minimal; these two species share similar habitat preferences and grow sympatrically across much of their range. This study includes a subgeneric-level description and a key for the identification of the species under study.

Keywords: selaginela, Lycophytes, description,

Introducción

El género *Selaginella* es uno de los más antiguos aún existentes en la Tierra, apareciendo durante el Devónico, hace aproximadamente 383 millones de años (Klaus et al., 2017). Su mayor diversidad ocurre en los trópicos, aunque se le encuentra también en hábitats áridos, templados y como parte de la flora alpina de numerosos picos en el mundo, desde el nivel del mar hasta superar los 4000 msnm, en todos los continentes con excepción de la Antártica (Jermy, 1990; Zhou y Zhang, 2015). A pesar de su ubicuidad,

su ecología ha sido poco estudiada (Tryon y Tryon, 1982).

Este género habría aprovechado la formación de Pangea, el supercontinente más reciente que incluyó a todas las masas continentales, para ampliar su distribución y explicando parcialmente su estatus cosmopolita en la actualidad.

Un ejemplo de su radiación evolutiva se encuentra en la aparición temprana de *Selaginella* subg. *Ericetorum* (*sensu* Zhou *et al.*, 2016), que engloba a los subgéneros *Lepidophyllae* y *Rupestreae* (*sensu* Weststrand y Korall, 2016) hace aproximadamente 262 millones de años, en una Pangea dominada por climas en extremo cálidos y áridos, a los que se adaptaron.

Estos subgéneros están bien representados en el Desierto Chihuahuense, los matorrales xerófilos y de las praderas alpinas de México, además de otras regiones del mundo como los Andes, la cuenca Mediterránea y los desiertos del norte de África y el centro-sur de Asia.

Material y Métodos

Se colectaron ejemplares enteros con hojas vegetativas, rizóforos, raíces, estróbilos maduros e inmaduros y esporas en seis localidades de los estados de Nuevo León y Coahuila (Figura 1).

Para la identificación de los especímenes recolectados, así como los depositados y digitalizados en diversos servidores en línea (Red de Herbarios del Noroeste de México, The Gray Herbarium (GH), Herbario Nacional de México- UNAM (MEXU) y el New York Botanical Garden-Steere Herbarium (NY)) se utilizaron las claves proporcionadas por Mickel *et al.* (2004).

Se realizó un registro fotográfico de caracteres morfológicos, descripciones para cada una de las especies, y una clave dicotómica para su identificación en comparación con otras especies similares presentes en la región norte de México.

Resultados y Discusión

Selaginella* subg. *Lepidophyllae (Li Bing Zhang & X.M.Zhou) Weststrand & Korall, Am. J. Bot. 103(12): 2164 (2016)

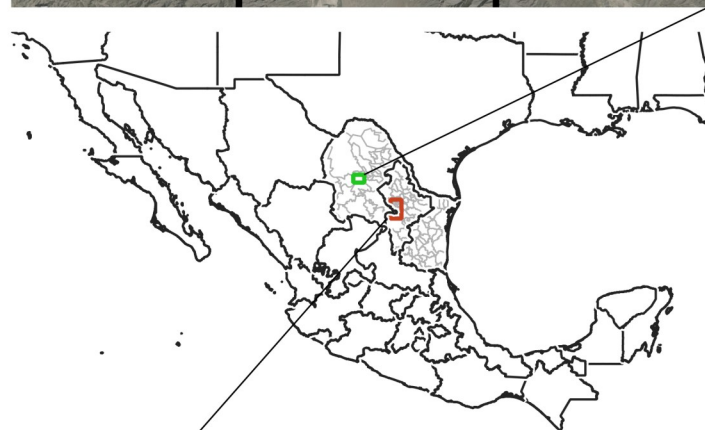
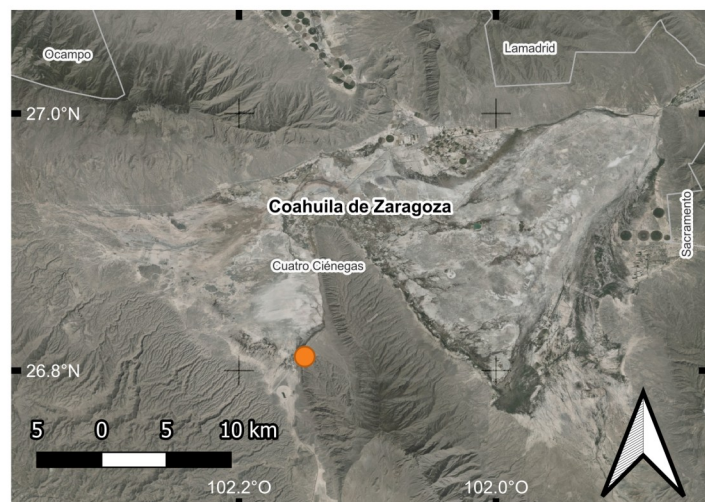
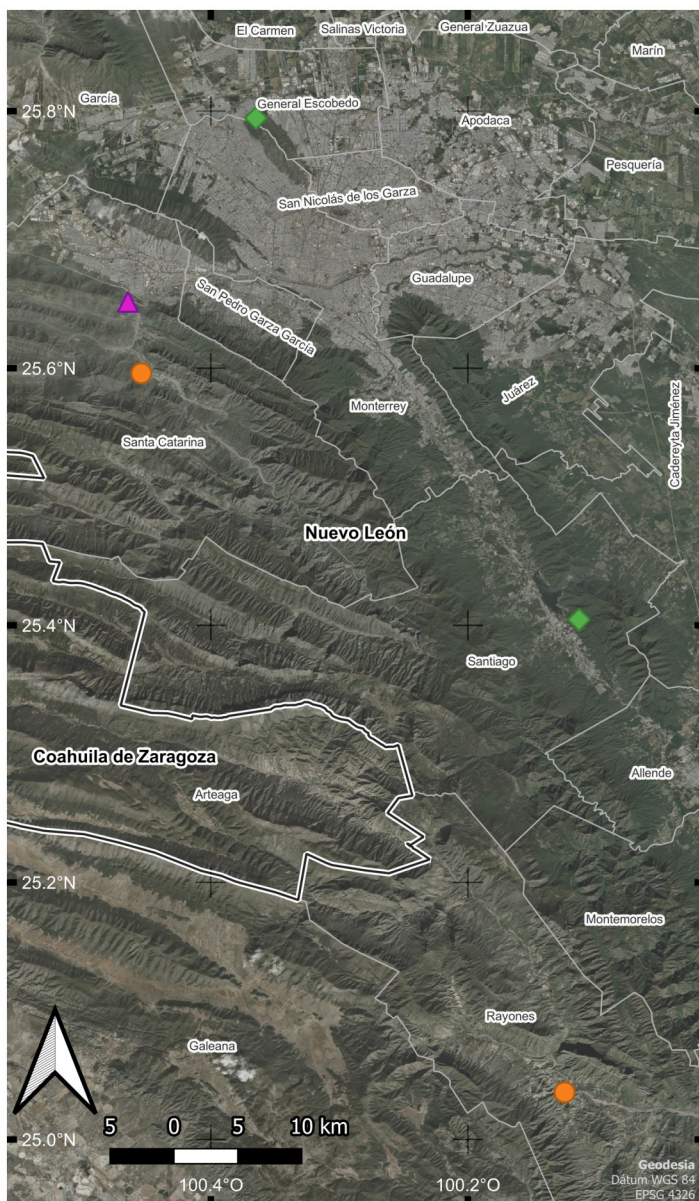
Sinónimos: *Selaginella* subg. *Ericetorum* sect. *Lepidophyllae* Li Bing Zhang & X.M.Zhou, Taxon 64(6): 1133 (2015)

Diagnosis: “*Species americanae Selaginellae rosulares, textura coriacea rigidaque. Caules prorsus foliosi, involuti curvati statu inerte in forma sphaerica. Folia anisophylorum, imbricatis, cum amplio margo albo vel hyalino, et apices rotundis ad acutis. Rhizophorae dorsales*” González-Martínez (2023).

Tipo: *Selaginella lepidophylla* (Hook. & Grev.) Spring

Plantas terrestres o rupícolas formadoras de rosetas completamente planas en condiciones de humedad y retraídas involutamente hasta formar una esfera en estado de desecación, con textura coriácea y rígida que las distingue fuertemente de otras especies arrosetadas como *S. pilifera*. Tallos extendidos, no articulados ni flageliformes, ramificados 2-3 veces, pubescentes a puberulentos. No forman estolones ni rizomas. Los rizóforos son producidos únicamente en la base de los tallos y surgen de la cara dorsal de los mismos.

Hojas micrófilas imbricadas y oprimidas que cubren por completo la longitud de los tallos, anisófilas, arregladas en cuatro filas paralelas – dos laterales y dos medias, y una hoja cubriendo los puntos de dicotomía (hojas axilares); orbiculares u ovadas a casi deltoides; con márgenes gruesos de hasta 0.1 mm de ancho, blancos a hialinos, dentados a largamente ciliados, con bases pubescentes a puberulentas; ápices redondos a aristados o largamente acuminados; con bases subcordadas a redondeadas; algunas veces con idioblastos plateados a hialinos; adaxialmente verde oscuro o claro en las hojas frescas, a pardas, doradas, o marrón-rojizo en las hojas viejas; adaxialmente en



Simbología

- Observaciones y Recolectas
- *Selaginella lepidophylla*
- ◆ *Selaginella novoleonensis*
- ▲ *Selaginella ribae*
- Límites Estatales
- Límites Municipales

Figura 1. Ubicación de recolección de los ejemplares utilizados en la descripción de *Selaginella* subg. *Lepidophyllae* en el noreste de México. En círculos anaranjados, *S. lepidophylla*; en triángulos rosados, *S. ribae*; en rombos verdes, *S. novoleonensis*

tonos dorados, pardos-verdosos, marrones a rojo brillante; de 1-3.5 × 0.7-2 mm; hojas axilares de similares características al resto, simétricas y deltoides, algunas veces con ápices truncados, exauriculadas.

Estróbilos terminales, tetragonales, de 6-10 mm de largo; esporófilas monomórficas, deltoides, aquilladas, de ápice agudo. Megasporas triletes en 2 hileras ventrales, amarillo brillante a ligeramente pálido, crestadas, reticuladas a estriadas, liberadas indepen-

dientemente unas de las otras. Microsporas triletes en 2-3 filas dorsales, anaranjado brillante a rojo-anaranjado, liberadas en tétradas dentro de una membrana común, lisa a ondulada.

En rocas y suelos sedimentarios, comúnmente calizos a yesosos, en áreas de extrema aridez a relativamente alta humedad edáfica, como en rocas alrededor de cascadas. Comúnmente asociadas a líquenes terrestres y epipétricos, musgos, helechos, orquídeas te-

restres y cactáceas en matorrales xerófilos, bosques secos y pastizales; 100-2000 msnm. Raramente como individuos aislados. Desde el suroeste de los Estados Unidos de América hasta el sur de México; algunos autores las han registrado en Centroamérica (El Salvador, Honduras). Se reconocen tres especies en el subgénero (Figura 2).

Selaginella lepidophylla (Hook. & Grev.) Spring in Martius, Fl. Bras. 1(2): 126 (1840) [Figuras 3-4].

Basónimo: *Lycopodium lepidophyllum* Hook. & Grev., Add. En. Filic. in Hook., Bot. Misc. 3: 106 (1833). Tipo: Cerca de San Blas, Nayarit, México, Henry Dundas s.n.

Lycopodium circinale Martens & Galeotti (*non*-L.), *L. pallescens* G. E. Smith (*non* Presl), *L. nidiforme* Herb. (*nom. nud.*), *Selaginella thoytsiana* Curd, *S. leptophylla* Eman Gay, *S. rediviva* Forrer ex Wittrock, *Lycopodioides lepidophylla* (Hook. & Grev.) O. Kuntze.

“*Densissime caespitosum, caule bi-tripinnato ubique folioso, foliis arctissime imbricatis coriaceo-rigidis obliquis late ovatis obtusis margine scariosis subtus*

pallidis rufescentibus, stipulis folio simillimis” (Hooker & Greville, 1833, p. 106).

En rocas y suelos de origen calizo o yesoso, tanto en zonas de extrema aridez como de relativa humedad edáfica y principalmente con exposición norte. Se asocia con helechos, cactáceas y musgos en matorrales xerófilos y pastizales; 100-2000 msnm; generalmente en grupos de 3-5 o más individuos, aunque se pueden encontrar individuales. Desde el suroeste de los Estados Unidos de América hasta el sur-sureste de México, al oeste del Istmo de Tehuantepec.

Selaginella novoleonensis Hieron. in Engler & Prantl, Die Natur. Pflanzfam. 1(4): 676 (1902). Tipo: Sierra de la Silla, cerca de Monterrey, Nuevo León, México, Pringle #2489 [Figuras 5-6].

“*Seitenb. und Mittelb. mit schief gestellter hyaliner, sich später braun färbender Borstenspitze [S. novoleonensis] ist sehr nahe verwandt mit der vorhergehenden [S. lepidophylla], aber robuster und unterscheidet sich auch durch die bis 5 mm breiten (Seitenb. eingeschlossen), dorsiventralen Sprossglieder; im mexikanischen Staate Nuevo Leon*” (Hieronymus & Sadebeck, 1902, p. 676).

1a.- Rosetas de textura coriácea, rígida.....	2
2a.- Ápices aristados o largamente acuminados.....	<i>S. novoleonensis</i> ☞
2b.- Ápices redondeados a subagudos.....	3
3a.- Márgenes blancos, ápices mucronados a subagudos.....	<i>S. lepidophylla</i> ☞
3b.- Márgenes hialinos, ápices redondeados a obtusos.....	<i>S. ribae</i> ☞
1b.- Rosetas de textura herbácea, suave.....	4
4a.- Rosetas laxas, ramas erectas, márgenes blancos.....	<i>S. pallescens</i> *
4b.- Rosetas completamente planas, márgenes hialinos.....	5
5a.- Ápices de las hojas largamente aristados.....	<i>S. pilifera</i> *
5b.- Ápices de las hojas redondeados a subagudos.....	<i>S. gypsophila</i> *

Figura 2. Clave para las especies de *Selaginella* subg. *Lepidophyllae* ☞ y especies similares no incluidas en este trabajo* del Noreste de México y regiones adyacentes



Figura 3. *Selaginella lepidophylla*, extendida. Rayones, Nuevo León (González-Martínez, 2023)



Figura 5. *Selaginella novoleonensis*, extendida. Monterrey, Nuevo León (González-Martínez, 2023)



Figura 4. *S. lepidophylla*, retraída en forma de esfera. Santa Catarina, Nuevo León (González-Martínez, 2023)



Figura 6. *S. novoleonensis*, retraída en forma de esfera. Monterrey, Nuevo León (González-Martínez, 2023)

En rocas y suelos de origen calizo, con relativamente alta humedad edáfica y principalmente con exposición norte. Se asocia con helechos, orquídeas y musgos en matorrales xerófilos y bosques secos; 500-2000 msnm; generalmente como individuales o en grupos pequeños. Se ha reportado desde la península de Baja California hasta Tamaulipas, de Sonora hasta Guerrero. Se han encontrado observaciones en la plataforma de ciencia ciudadana iNaturalist de individuos morfológicamente muy similares a *S. novo-*

leonensis en los límites de El Salvador y Honduras, los cuales requieren de mayor confirmación.

Selaginella ribae Valdespino in Mickel & Smith, Mem. New York Bot. Gard. 88(1): 591. Tipo: Zumpango del Río, Guerrero, México; 38 km al sur de Iguala, 0.5 km al norte de Xalitla, en el camino a Acapulco, Koch et al. 7987 [Figuras 7 y 8].

“Inter species rosulares Selaginellae, S. ribae apicibus foliorum lateralium et medianorum rotundatis vel

late obtusis distincta" (Mickel et al., 2004, p. 591).

En rocas y suelos de origen calizo o yesoso, arcillosos a limosos, principalmente con exposición norte, raramente en zonas de alta humedad edáfica. Se asocia con helechos, cactáceas y magueyes en matorrales xerófilos y pastizales; 600-1000 msnm; generalmente en grupos de 3-5 a decenas de individuos, aunque se pueden encontrar individuales. Se ha reportado desde Chihuahua hasta Tamaulipas, al sur hasta Guerrero y Oaxaca.



Figura 7. *Selaginella ribae*, extendida en cultivo. Apodaca, Nuevo León (González-Martínez, 2023)



Figura 8. *S. ribae*, retraída en forma de esfera. Santa Catarina, Nuevo León (González-Martínez, 2023)

El subgénero *Lepidophyllae* presenta, en general, poca diferenciación morfológica entre sus especies constituyentes. Esto ha causado numerosos casos de confusión al momento de determinar ejemplares dentro de este grupo, así como en otras especies arrosetadas en México, donde convergen de siete a ocho especies con estas características (*Selaginella acutifolia*, *S. convoluta*, *S. gypsophila*, *S. lepidophylla*, *S. novoleonensis*, *S. pallescens*, *S. pilifera* y *S. ribae*).

La especie *S. novoleonensis* es la que más diverge entre las tres, con características muy claramente diferenciables como los idioblastos plateados en casi todas las hojas medias y la presencia de una arista larga en todas las hojas. Por otro lado, la diferenciación entre *S. lepidophylla* y *S. ribae* puede llegar a considerarse parte del espectro natural de variación de las especies.

Madrigal-González y Bedolla-García (2021) han expuesto, ante comentarios del autor de la especie, la probabilidad de que *S. ribae* se trate de una variante en el complejo específico de *S. lepidophylla*. Aunado a esto, es común que los ejemplares sufran daños *in situ* y *ex situ*. Por ejemplo, la pérdida de aristas en las especies isófilas puede dificultar la determinación de ejemplares preservados o frescos, y daños similares ocurren comúnmente en ejemplares de otros grupos. Estas circunstancias pueden afectar la probabilidad de identificar positivamente ejemplares de *S. ribae* y *S. lepidophylla*.

Ochoterena *et al.* (2020), han ubicado a *S. ribae* en los suelos yesosos del Desierto Chihuahuense, condición que también comparte con *S. lepidophylla*, dificultando así la diferenciación en cuestiones de hábitat. Por estas razones, se considera necesario un estudio molecular o genético que indague en las relaciones entre estas especies y otras similares, como *S. nothohybrida* del centro y sur de México.

Conclusiones

Las especies de *Selaginella* subg. *Lepidophyllae* presentan escasa diferenciación en su macromorfología. Las descripciones y el registro fotográfico muestran una gran afinidad entre las características de *S. lepidophylla* y *S. ribae*, sin descartar la probabilidad de que se trate de variabilidad propia de una sola especie, para lo cual se requiere mayor investigación molecular y micromorfológica. Las observaciones correspondientes a las especies de este estudio en las plataformas de consulta en línea como *iNaturalist* y GBIF presentan errores que sesgan el estudio de su extensión y que requieren corrección. Aunado a esto, los ejemplares depositados en diversos herbarios de México y el extranjero merecen atención para su correcta determinación.

Se elaboró una clave para la identificación de las especies de *Selaginella* subg. *Lepidophyllae*, y otras especies formadoras de rosetas como *S. pallescens*, *S. pilifera* y *S. gypsophila* (no incluidas en este trabajo por pertenecer a otros subgéneros) del noreste de México y regiones adyacentes para facilitar su reconocimiento.

Agradecimientos

Al Dr. Sergio Moreno Limón†, quien dirigió este estudio en sus primeras instancias y que junto al Dr. Jerzy Rzedowski, Dr. Iván Valdespino y Dr. Sergio Salcedo le dieron enfoque y forma.

Referencias

González-Martínez A. (2023). Descripción y Apuntes Taxonómicos de *Selaginella* subg. *Lepidophyllae*, con énfasis en el Noreste de México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Hieronymous G., Sadebeck R. (1902). Selaginellaceae. En Engler A., Prantl K. (eds.) Die natürlichen Pflanzenfamilien nebst ihren Gattungen und wichtigeren Arten insbesondere den Nutzpflanzen. (1)4. V. W. Engelmann. 621-

716. <http://dx.doi.org/10.5962/bhl.title.4635>

Hooker W.J., Greville R.K. (1833). Additions and Corrections to the Enumeratio Filicum, Part I. Lycopodinae. Botanical Miscellany. 3. 106. <https://www.biodiversitylibrary.org/item/10541#page/1/mode/1up>

Jermy A.C. (1990). Selaginellaceae. En Kubitzki K. y Green, P. S. (eds.). The Families and Genera of Vascular Plants-Pteridophytes and Gymnosperms. Springer-Verlag. 39-45.

Klaus K.V., Schulz C., Bauer D.S., Stützel T. (2017). Historical biogeography of the ancient lycophyte genus *Selaginella*: early adaptation to xeric habitats on Pangea. Cladistics 33: 469-480. <https://doi.org/10.1111/cla.12184>

Madrigal-González D., Bedolla-García B.Y. (2021). Familia Selaginellaceae. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. 220. 7.

Mickel J.T., Smith A.R., Valdespino I.A. (2004). *Selaginella*. En Mickel J.T., Smith A.R. (eds.) The Pteridophytes of Mexico. Memories of the New York Botanical Garden Vol. 88. The New York Botanical Garden. 550-602.

Ochoterena H., Flores-Olvera H., Gómez-Hinostrosa C., Moore M.J. (2020). *Gypsum* and Plant species: A Marvel of Cuatro Ciénegas and the Chihuahuan Desert. En Mandujano M.C., Pisanty I., Eguiarte L.E. (eds.) Plant Diversity and Ecology in the Chihuahuan Desert. Springer Nature Switzerland AG. 129-165.

Tryon R.M., Jr., Tryon A.F. (1982). Selaginellaceae. En Tryon R.M., Jr., Tryon A.F. Ferns and Allied Plants – With Special Reference to Tropical America. Springer-Verlag. 812-825.

Weststrand S., Korall P. (2016). A subgeneric classification of *Selaginella* (Selaginellaceae). American Journal of Botany 103(12): 2160-2169.

Zhou X.M., Zhang L.B. (2015). A classification of *Selaginella* (Selaginellaceae) based on molecular (chloroplast and nuclear), macromorphological, and spore features. Taxon 64(6): 1117-1140.

Zhou X.M., Rothfels C.J., Zhang L., He Z.R., Le Péchon T., He H., Zhang L.B. (2016). A large-scale phylogeny of the lycophyte genus *Selaginella* (Selaginellaceae: Lycopodiopsida) based on plastid and nuclear loci. Cladistics 32(4): 360-389. <https://doi.org/10.1111/cla.12136>

Efecto de los Bioestimulantes Radix© y Optimus© a Base de Microalgas sobre el Rendimiento del Cultivo de Caña de Azúcar

L.A. Sumuano-Barragán¹, F. Flores-García¹ y D.M. Garza-García²

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía.
Av. Francisco I. Madero S/N, Ex Hacienda el Canadá, 66050,
General Escobedo, N.L. México

²Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas
Av. Pedro de Alba s/n, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L. México. 66455

*Autor para correspondencia: misael.garzagr@uanl.edu.mx

Resumen

Las microalgas han emergido como una fuente prometedora de compuestos bioactivos con potencial en la agricultura sustentable gracias a su capacidad para sintetizar aminoácidos, polisacáridos, vitaminas, antioxidantes y fitorreguladores naturales. Se evaluó el efecto de dos bioestimulantes comerciales a base de microalgas (RADIX® y OPTIMUS®) desarrollados por GEXUS© sobre el rendimiento y calidad del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* var. LCP 85-384) bajo condiciones de campo en el municipio de Tala, Jalisco, México. El experimento se condujo durante la zafra 2023/2024 en un diseño comparativo con testigo sin tratamiento, aplicando tres dosis sucesivas de ambos productos por drench. Se evaluaron variables agronómicas como altura de planta, índice de desarrollo, rendimiento de caña (t ha^{-1}), contenido de fibra, sacarosa, °Brix, pureza del jugo y rendimiento de azúcar. Los resultados mostraron que el tratamiento con bioestimulantes incrementó la altura promedio ($206.77 \pm 4.91 \text{ cm}$) respecto al testigo ($185.77 \pm 10.52 \text{ cm}$), aunque sin diferencia estadística significativa ($p = 0.174$). Sin embargo, sí se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el peso por tallo ($6.47 \pm 0.47 \text{ kg}$ vs $3.97 \pm 0.27 \text{ kg}$), índice de desarrollo (0.65 ± 0.05 vs 0.40 ± 0.03) y rendimiento por hectárea ($121.42 \pm 10.67 \text{ t ha}^{-1}$ vs $63.56 \pm 4.36 \text{ t ha}^{-1}$), a favor del tratamiento con los bioestimulantes de GEXUS©. Estos resultados evidencian que la aplicación de bioestimulantes a base de microalgas promueve mejoras significativas en productividad sin comprometer la calidad del cultivo,

representando una estrategia que pueden ayudar a optimizar la producción cañera en regiones tropicales.

Palabras clave: Microalgas, bioestimulación, rendimiento, caña de azúcar

Abstract

Microalgae have emerged as a promising source of bioactive compounds with potential for sustainable agriculture, thanks to their ability to synthesize amino acids, polysaccharides, vitamins, antioxidants, and natural phytochemicals. This study evaluated the effect of two commercial microalgae-based biostimulants (RADIX® and OPTIMUS®), developed by GEXUS©, on the yield and quality of sugarcane (*Saccharum officinarum* var. LCP 85-384) under field conditions in Tala, Jalisco, Mexico. Three foliar applications were conducted during the 2023/2024 growing season. Agronomic variables such as plant height, development index, cane yield (t ha^{-1}), fiber content, sucrose, °Brix, juice purity and sugar yield were evaluated. Results showed that biostimulant application increased average plant height ($206.77 \pm 4.91 \text{ cm}$) compared to the control ($185.77 \pm 10.52 \text{ cm}$), although this difference was not statistically significant ($p = 0.174$). However, significant differences ($p < 0.05$) were observed in stalk weight ($6.47 \pm 0.47 \text{ kg}$ vs. $3.97 \pm 0.27 \text{ kg}$), development index (0.65 ± 0.05 vs. 0.40 ± 0.03), and cane yield ($121.42 \pm 10.67 \text{ t/ha}$ vs. $63.56 \pm 4.36 \text{ t/ha}$) in favor of treatment with GEXUS © biostimulants. These results demonstrate that microalgae-based biostimulants can significantly enhance productivity without negatively

affecting crop quality, representing an effective and sustainable strategy for improving sugarcane production in tropical agroecosystems.

Keywords: Microalgae, biostimulation, yield, sugarcane

Introducción

Uno de los mayores desafíos en la agricultura moderna es asegurar la sostenibilidad de los cultivos clave para la economía global, como la caña de azúcar. Según proyecciones recientes, para el 2035, la demanda de este cultivo podría superar la producción debido a factores como el cambio climático y la degradación de los suelos (Flack-Prain *et al.*, 2021). Esta problemática se agrava por el agotamiento de los recursos hídricos y la dependencia histórica de fertilizantes químicos, que han generado pérdida de biodiversidad edáfica, acidificación de los suelos y contaminación de acuíferos (Ganguly *et al.*, 2021). En este contexto, los bioestimulantes emergen como una solución prometedora para mejorar la eficiencia agronómica sin comprometer los ecosistemas.

Entre las alternativas más destacadas se encuentran los bioestimulantes derivados de microalgas, ricos en fitorreguladores, péptidos y nutrientes esenciales que estimulan el crecimiento radical, la resistencia a sequías y la absorción de nutrientes (Çakirsoy *et al.*, 2022). Su aplicación no solo incrementa los rendimientos, sino que también reduce la huella ambiental de la agricultura intensiva.

En países como México, Brasil e India, la caña de azúcar es un cultivo estratégico para la producción de azúcar, etanol y energía renovable (López-Ortega *et al.*, 2021). Sin embargo, enfrenta presiones como plagas emergentes, estrés térmico y suelos agotados. En este estudio se evaluó el efecto de los bioestimulantes RADIX® y OPTIMUS®, desarrollados por GEXUS®, pioneros en biotecnología de microalgas, en plantaciones de caña del estado de Jalisco, México (Miranda *et al.*, 2024). El objetivo fue determinar su impacto en variables de interés agronómicas, proponiendo así una alternativa viable para una industria azucarera más sostenible.

Material y Métodos

Localización

El presente estudio se llevó a cabo en el Ejido Pequeña Propiedad Tala, en el Potrero San Lorenzo, ubicado en el municipio de Tala, Jalisco, México. Esta región presenta un clima cálido subhúmedo, caracterizado por lluvias en verano, altas temperaturas durante los meses de abril a junio, y una marcada estacionalidad en las precipitaciones.

El ensayo se realizó durante el ciclo 4 Resoca-2 correspondiente a la zafra 2023/2024. La fecha de aplicación de tratamientos fue el 29 de marzo de 2023, con una superficie tratada de 1 hectárea.

La cosecha se efectuó el 22 de noviembre del 2023.

Datos del cultivo

El ensayo se llevó a cabo en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) de la variedad LCP 85-384. La plantación presentó una distancia entre surcos de 1.80 metros y una longitud de surco de 175 metros. El diseño experimental incluyó 32 surcos por tratamiento.

Tratamientos

El tratamiento consistió en la aplicación de RADIX®, un bioestimulante a base de microalgas que promueve el crecimiento de raíces, protege contra fitopatógenos y activa microorganismos benéficos en la rizosfera, y OPTIMUS®, un bioestimulante de última generación formulado a base de microalgas y ácidos fúlvicos, que mejora las propiedades del suelo, optimiza la absorción y asimilación de nutrientes (Figura 1). Ambos productos son desarrollados por la empresa GEXUS® con una dosis recomendada de 1L/H aplicada vía drench (Tabla 1). El diseño de campo, mostrado en el croquis, consistió en la comparación entre el tratamiento de los productos de la empresa GEXUS® y un testigo (sin tratamiento) separados por un callejón de riego, cada uno con 32 surcos (Figura 2).



Figura 1. Aplicación del bioestimulante RADIX® vía drench.

32 surcos	Callejón de riego	32 surcos
Testigo		Tratamiento GEXUS
Camino a las bodegas		

Figura 2. Croquis de la distribución de los tratamientos en el cultivo de caña de azúcar.

Diseño experimental y toma de datos

La evaluación se llevó a cabo mediante un muestreo en tres sitios de 10 metros dentro de cada tratamiento, en los cuales se seleccionaron tallos de manera aleatoria con el fin de evitar sesgos en la recolección de datos. En cada sitio, los tallos fueron pesados para estimar el rendimiento por unidad de superficie. La altura de las plantas se midió manualmente utilizando una cinta métrica estándar.

Evaluación de variables agronómicas

En el cultivo de caña de azúcar se evaluaron diversas variables agronómicas para determinar el efecto de los tratamientos aplicados. Estas incluyeron la altura promedio de los tallos (expresada en centímetros) y el índice de desarrollo, calculado como el producto del número de tallos por la altura media, dividido entre 100. Asimismo, se estimó el rendimiento de caña en toneladas por hectárea, a partir del peso de los tallos muestreados. Otras variables consideradas fueron el porcentaje de humedad en hoja, el contenido de azúcares reductores en el tallo y el rendimiento en azúcar, expresado como el porcentaje de recuperación. Además, se determinó el rendimiento de azúcar por hectárea, el contenido de fibra en el tallo (porcentaje), la concentración de sacarosa en el jugo de caña (porcentaje), °Brix"del jugo y la pureza del jugo, calculada como la relación entre la sacarosa y los sólidos solubles totales.

Tabla 1. Número de aplicaciones de los bioestimulantes RADIX® y OPTMUS®.

Aplicación	Producto	Dosis/ha	Fecha	Modo de aplicación
1ra	RADIX®	1 L	29-mar-23	Drench en 200 L de agua
	OPTMUS®	2 L		
2da	RADIX®	1 L	30-jun-23	Drench en 200 L de agua
	OPTMUS®	1 L		
3ra	RADIX®	1 L	29-sep-23	Drench en 200 L de agua
	OPTMUS®	1 L		

Drench: Método de aplicación agrícola que consiste en administrar una solución líquida directamente al suelo, en la zona radicular de la planta, con el propósito de facilitar la absorción de nutrientes, bioestimulantes o productos fitosanitarios a través de las raíces. Tabla 2. Variables agronómicas de la caña de azúcar a partir de la aplicación de RADIX® y OPTMUS®.

Análisis estadístico

Los datos recolectados fueron procesados y analizados utilizando el software R (versión 4.3.1). Se aplicó estadística descriptiva para calcular la media y el error estándar ($\pm$ EE) de cada variable evaluada en ambos tratamientos. Para comparar los efectos del tratamiento con bioestimulantes respecto al testigo, se empleó la prueba t de Student para muestras independientes, considerando una varianza desigual entre grupos y un nivel de significancia del 5% ($p < 0.05$). Las variables con diferencias significativas fueron identificadas con letras distintas (“a” y “b”) para facilitar su interpretación en las tablas.

Resultados y discusión

Los resultados presentados en la Tabla 2 muestran el impacto en el desarrollo agronómico y el rendimiento de caña de azúcar a partir de la aplicación de los bioestimulantes a base de microalgas de GEXUS© en comparación con el tratamiento testigo (sin aplicación de bioestimulantes).

Parámetros agronómicos

Se establecieron como métricas clave para evaluar el desempeño del cultivo la altura promedio de la planta, el índice de desarrollo, el rendimiento estimado en toneladas de caña por hectárea y los parámetros de calidad como porcentaje de fibra, sacarosa, °Brix, pureza, azúcares reductores y rendimiento de azúcar por hectárea. En cuanto al desarrollo de la planta, el tratamiento con los bioestimulantes promovió un

incremento notable en la altura promedio de las plantas, registrando 206.76 cm frente a los 185.76 cm del testigo, lo que representa un aumento del 11.3%. De manera similar, el índice de desarrollo mostró un incremento significativo de 69.71 en el tratamiento contra 54.62 en el testigo, indicando una mayor biomasa aérea por unidad de superficie.

Rendimiento teórico de caña y azúcar

Respecto al rendimiento de caña por hectárea, el tratamiento con bioestimulantes alcanzó 121.25 t ha⁻¹, prácticamente duplicando el rendimiento del testigo que fue de 64.16 t ha⁻¹, es decir, un incremento del 89%. Este notable aumento sugiere que los bioestimulantes a base de microalgas no solo favorece el crecimiento vegetativo, sino también la acumulación de biomasa comercialmente relevante (Gonçalves, 2021).

Calidad de la caña

En los parámetros de calidad de caña, se observó una ligera disminución en el contenido de humedad (72.80% en el tratamiento vs 79.20% en testigo) y fibra (11.70% frente a 12.20%), lo cual es positivo para el procesamiento industrial de la caña, dado que facilita la extracción de jugo y optimiza el rendimiento en fábrica.

La concentración de sacarosa fue ligeramente mayor en el tratamiento con bioestimulantes (14.32%) frente al testigo (13.67%). Aunque se esperaba un incre-

Tabla 2. Variables agronómicas de la caña de azúcar a partir de la aplicación de RADIX© y OPTMUS©.

Tratamiento	Rendimiento de caña (t ha ⁻¹)	Rendimiento de azúcar (t ha ⁻¹)	RAT (%)	Humedad (%)	Fibra (%)	Sacarosa (%)	°Brix (%)	Pureza (%)
Testigo	64.16 $\pm$ 4.36	7.96 $\pm$ 0.55	12.41	79.20	12.20	14.32	16.69	85.83
GEXUS©	121.25 $\pm$ 10.67	14.08 $\pm$ 1.24	11.61	72.80	11.70	13.67	16.37	83.47

mento más marcado, esta diferencia se compensa con el notable aumento en el volumen de caña producido. Adicionalmente, los "Brix" (16.37% en el tratamiento vs 16.69% en testigo) y la pureza del jugo (83.47% frente a 85.83%) se mantuvieron en rangos aceptables para la industria azucarera, sin afectaciones adversas relevantes.

Un aspecto relevante es el contenido de azúcares reductores en el tallo, siendo 0.261 en el tratamiento frente a 0.240 en el testigo. Aunque la diferencia es ligera, esta tendencia es positiva para la calidad de la caña en términos de eficiencia en la recuperación de sacarosa.

En cuanto al rendimiento de azúcar, se observaron resultados contundentes: el tratamiento con GEXUS® logró 121.25 t ha⁻¹, generando 14.08 toneladas de azúcar/ha, mientras que el testigo apenas alcanzó 7.96 toneladas de azúcar/ha, lo que representa un incremento del 77%.

El análisis estadístico descrito en la tabla 3 reveló que el tratamiento con bioestimulantes a base de microalgas presentó diferencias significativamente superiores ($p < 0.05$) en variables clave como el peso por

tallo, el índice de desarrollo y el rendimiento por hectárea en comparación con el testigo. Estas diferencias reflejan un impacto fisiológico positivo del tratamiento en la acumulación de biomasa útil y productividad industrial. Estudios recientes han reportado resultados similares, Tritean *et al.* (2025) demostraron que extractos de *Chlorella sorokiniana* incrementaron significativamente parámetros fisiológicos en cultivos hortícolas; El-Zaidy *et al.* (2024) observaron una mejora significativa en la productividad y calidad de caña de azúcar con aplicaciones de *Spirulina*.

Estos resultados evidencian que la aplicación de los bioestimulantes a base de microalgas de GEXUS® contribuye significativamente al aumento del rendimiento y productividad de caña de azúcar sin afectar de manera negativa los parámetros de calidad industrial. El incremento en biomasa, rendimiento de caña y azúcar podría estar relacionado con la mejora en la actividad fisiológica de las plantas, promovida por los metabolitos activos de las microalgas, que estimulan procesos como la fotosíntesis, el desarrollo radicular y la eficiencia en la asimilación de nutrientes (Gamma *et al.*, 2025; EL Mernissi, & EL Arroussi, 2025).

Tabla 3. Diferencias estadísticas entre las variables agronómicas de la caña de azúcar a partir de la aplicación de RADIX® y OPTMUS®.

Variable	Testigo (media ± EE)	Letra	GEXUS® (media ± EE)	Letra
Altura (cm)	185.77 ± 10.52	a	206.77 ± 4.91	a
Diámetro (cm)	1.74 ± 0.12	a	1.99 ± 0.03	a
Población	582.33 ± 56.64	a	675.00 ± 23.16	a
Peso 10 tallos (kg)	29.12 ± 2.83	a	33.75 ± 1.16	a
Peso por tallo (kg)	3.97 ± 0.27	b	6.47 ± 0.47	a
Índice de desarrollo	0.40 ± 0.03	b	0.65 ± 0.05	a
Rendimiento (t/ha)	63.56 ± 4.36	b	121.42 ± 10.67	a

Conclusiones

Los bioestimulantes a base de microalgas de GEXUS®, demostraron ser altamente efectivos para mejorar el desarrollo, el rendimiento de caña y el rendimiento teórico de azúcar en caña de azúcar de la variedad LCP 85-384.

Los incrementos obtenidos en la producción de biomasa y azúcar, junto con el mantenimiento de la calidad industrial de la caña, posicionan a los bioestimulantes de GEXUS® como una herramienta viable para optimizar la rentabilidad de los sistemas de producción cañera y abren nuevas oportunidades para su implementación en programas de manejo agrícola sustentable.

Referencias

- Flack-Prain, S., Shi, L., Zhu, P., Rocha, H. R., Cabral, O., Hu, S., & Williams, M. (2021). The impact of climate change and climate extremes on sugarcane production. *Global Change Biology. Bioenergy*, 13(3), 408–424. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12797>
- Ganguly, R.K., Mukherjee, A., Chakraborty, S.K., & Verma, J.P. (2021). Impact of agrochemical application in sustainable agriculture. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering* (pp. 15–24). Elsevier.
- Çakirsoy, I., Miyamoto, T., & Ohtake, N. (2022). Physiology of microalgae and their application to sustainable agriculture: A mini-review. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1005991. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1005991>
- López-Ortega, M.G., Guadalajara, Y., Junqueira, T.L., Sampaio, I.L. M., Bonomi, A., & Sánchez, A. (2021). Sustainability analysis of bioethanol production in Mexico by a retrofitted sugarcane industry based on the Brazilian expertise. *Energy (Oxford, England)*, 232 (121056), 121056. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121056>
- Miranda, A.M., Hernandez-Tenorio, F., Villalta, F., Vargas, G.J., & Sáez, A.A. (2024). Advances in the development of biofertilizers and biostimulants from microalgae. *Biology*, 13(3), 199. <https://doi.org/10.3390/biology13030199>
- Gonçalves, A.L. (2021). The use of microalgae and Cyanobacteria in the improvement of agricultural practices: A review on their biofertilising, biostimulating and biopesticide roles. *Applied Sciences (Basel, Switzerland)*, 11(2), 871. <https://doi.org/10.3390/app11020871>
- Gama, R.C.N. da, Castro, J. de S., Marangon, B.B., de Jesus Junior, M.M., Ribeiro, V.J., Silva, J. da, & Calijuri, M.L. (2025). Microalgae bioinputs as disruptive technology for a sustainable agriculture: A systematic and bibliometric review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(2), 116034. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.116034>
- EL Mernissi, N., & EL Arroussi, H. (2025). Biofertilizers, soil conditioners, and biostimulants from microalgae. In *Algal Bioreactors* (pp. 593–602). Elsevier.
- Titrean, N. Popa, D.G., Georgescu, F., & Lupu, C. (2025). SL-6 Mimic Is a Biostimulant for *Chlorella sorokiniana* and Enhances the Plant Biostimulant Effect of Microalgal Extract. *Plants*, 14(7), 1010. <https://doi.org/10.3390/plants14071010>
- El-Zaidy, M., Ghallab, M., Bukhari, N., & Salem, E. A. (2024). Influence of Spirulina Extract on Physiological, Qualitative, and Productive Traits of Four Sugarcane Genotypes. *Agronomy*, 14(7), 1594. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071594>
- Alvarez, A.L., Weyers, S.L., Goemann, H.M., Peyton, B.M., & Gardner, R.D. (2021). Microalgae, soil and plants: A critical review of microalgae as renewable resources for agriculture. *Algal Research*, 54 (102200), 102200. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102200>

Morfoanatomía Foliar del Huizache *Vachellia farnesiana* (L.) Wright y Arn.

Marco A. Alvarado-Vázquez*, Alejandra Rocha-Estrada y Sergio M. Salcedo-Martínez

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas
Av. Pedro de Alba s/n, Cd. Universitaria, 66455
San Nicolás de los Garza, N.L. México.

*Autor para correspondencia: marco.alvaradovz@uanl.edu.mx

Resumen

Se describe la morfología y anatomía de los foliolos de *Vachellia farnesiana*, destacando características de adaptación a hábitats áridos y semiáridos; esto mediante técnicas de maceración, transparentación e histología en parafina. Encontrando que la hoja del huizache presenta características que la hacen particularmente adaptable a los ambiente áridos y semiáridos, tales como hojas relativamente pequeñas, gruesas, algo revolutas, cutícula gruesa y con estriaciones cuticulares, principalmente en el haz; abundancia de tricomas en ambas superficies, más desarrollados en el envés; mesófilo con distribución isolateral, con dos capas de empalizada hacia el haz y una hacia el envés; estomas sólo en el envés, no muy abundantes y de forma casi circular.

Palabras clave: huizache, hojas, foliolos, tricomas, parénquima empalizada, parénquima esponjoso, Nuevo León, México

Abstract

The morphology and anatomy of *Vachellia farnesiana* leaflets are described, highlighting adaptive characteristics to arid and semi-arid habitats using maceration, translucency, and paraffin histology techniques. The huizache leaf is found to have characteristics that make it particularly adaptable to arid and semi-arid environments, such as relatively small, thick, somewhat revolute leaves, thick cuticle with

cuticular striations, mainly on the upper surface; abundant trichomes on both surfaces, more developed on the underside; mesophyll with isolateral distribution, with two palisade layers on the upper surface and one on the underside; stomata only on the underside, sparse and almost circular in shape.

Keywords: huizache, leaves, leaflets, trichomes, palisade parenchyma, spongy parenchyma, Nuevo León, Mexico

Introducción

Las principales zonas áridas y semiáridas del mundo se distribuyen a lo largo de 2 cinturones que pasan por los trópicos de Cáncer y Capricornio, comprendiendo una superficie de 28 millones de km² equivalente al 19% de la superficie total del planeta (Foroughbakhch *et al.*, 1994), en México ocupan más de 90 millones de hectáreas más del 40% del territorio nacional (Zerecero Leal, 1981).

Una de las especies que vive en las zonas áridas y semiáridas es *V. farnesiana* (Fabaceae), conocido comúnmente como huizache, es una planta de la cual se puede obtener harina, miel, goma, carbón, tiene uso medicinal, artesanal, forrajero y ornamental (Alvarado Vázquez, 1997; Rocha Estrada *et al.*, 1998;

Villarreal Quintanilla y Estrada Castillón, 2008; Reséndiz Flores et al., 2016; Pérez Cruz et al., 2022; Magaña Magaña et al., 2023). Por otro lado, la familia Fabaceae ha sido objeto de estudio por varios investigadores, entre los cuales destacan Metcalfe y Chalk (1950), quienes describen la morfología y anatomía de los órganos vegetativos de las leguminosas; por su parte Barrientos Ramírez et al. (2012), evalúan las características del fruto del huizache para su posible uso en curtiduría o alimentación animal.

Biradar y Rachetti (2013), realizaron extracción de metabolitos en cromatografía de capa fina de diferentes partes de la acacia, esto con la finalidad de ser aplicados en el área de salud. Erkovan et al. (2016), hacen una revisión general de esta especie considerando la descripción, su biología general y usos; así como las interacciones bióticas y abióticas en el manejo de la dinámica de la población y comunidad.

Material y métodos

El material vegetal se colectó en el municipio de China, Nuevo León, entre los paralelos 25°28' y 25°26' de latitud norte y los meridianos 99°17' y 99°15' de longitud oeste, y se encuentra en la Provincia de la Planicie Costera del Golfo dentro de la Región Xerofítica Mexicana (Rzedowski, 1981). El clima es semiseco cálido CBS, (h') hx' (García, 2004); la precipitación media anual es del orden de los 500 mm (INEGI, 1986). De acuerdo con las cartas de vegetación de DETENAL (1978), la vegetación es del tipo matorral espinoso tamaulipeco.

Se colectaron muestras de 5 plantas de *V. farnesiana* (Figura 1), los ejemplares están depositados en el herbario de la Facultad de Ciencias Biológicas (UNL). Se tomaron muestras de hoja de las 5 plantas (seleccionándose hojas adultas y con una madurez adecuada), se les aplicaron las técnicas de maceración con los métodos de Jeffrey y Schultz (Curtis, 1986), transparentación con los métodos de Foster y



Figura 1. Huizache *V. farnesiana*, mostrando sus hojas, foliolos y flores amarillas en cabezuelas

Dizeo Strittmater (D'Ambrogio de Argüeso, 1986) y cortes en parafina de acuerdo con Johansen (1940). Cada una de estas técnicas permitió conocer diferentes aspectos de la morfología y anatomía foliar del huizache, además se realizaron 50 mediciones para cada tipo de célula o tejido.

Los criterios para la descripción de los tejidos fueron básicamente los de Metcalfe y Chalk (1950) y Radford et al., (1974). Para los patrones de nerviación se utilizó la clasificación de Hickey (1973), para los estomas se siguió a Baranova (1992).

Resultados y Discusión

Morfología

Hojas compuestas, 3-8 cms de longitud, 2-6 pares de pinnas. Folíolos numerosos, de forma linear oblonga, color gris verdoso, 2-3.9 mm de longitud y 0.6-1.1 mm de ancho; foliosos glabros excepto por unos pocos tricomas simples en los bordes inferiores (Tabla 1, Figura 2d).

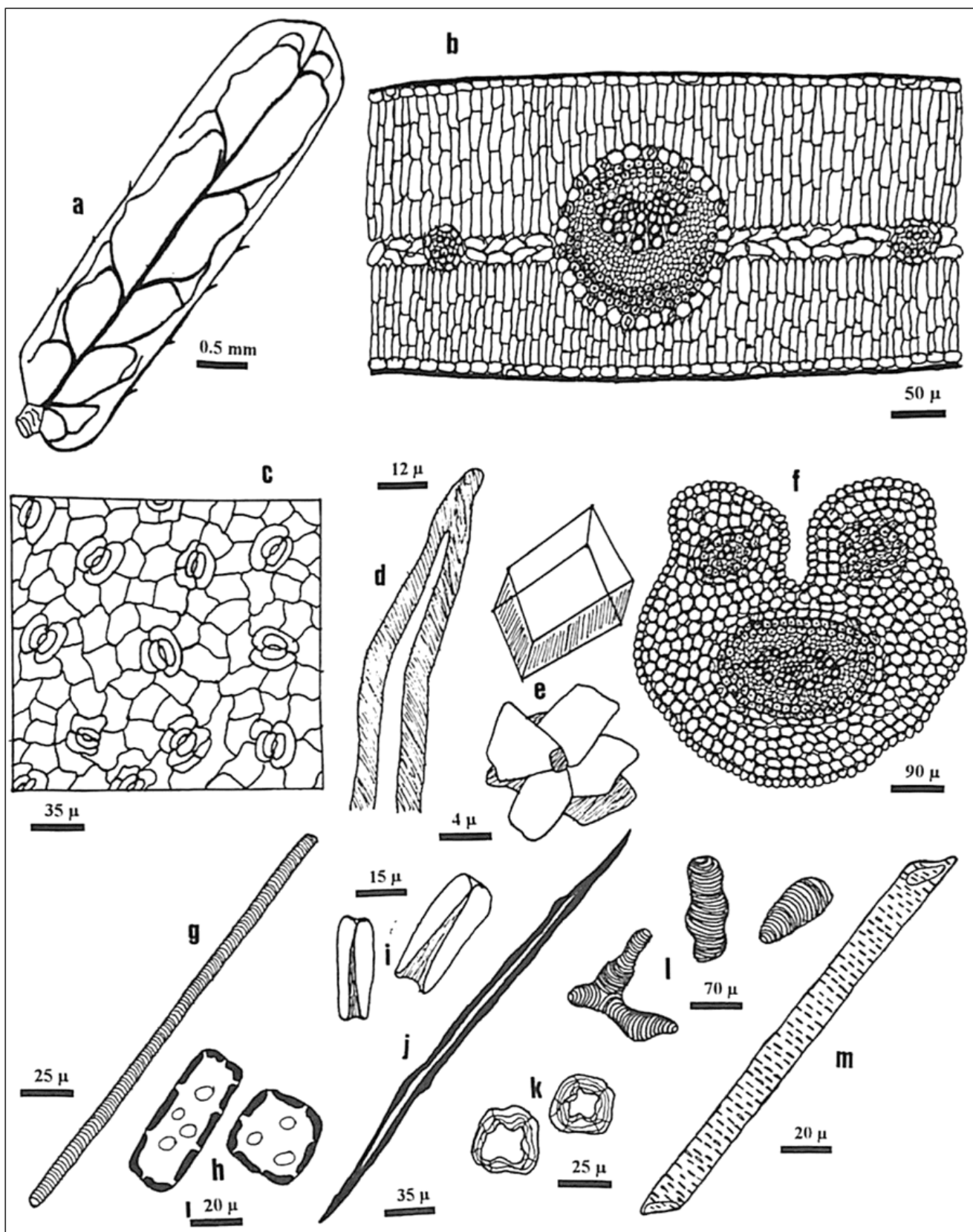


Figura 2. *Vachellia farnesiana* (L.) Wight y Arn. a, morfología y nerviación del foliolo; b, corte transversal del foliolo; c, epidermis del haz y envés; d, tricoma; e, cristales de oxalato de calcio; f, corte transversal del peciolo; g, vaso helicoidal; h, células del parénquima del xilema; i, macrosclereidas; j, fibra; k, braquiesclereidas; l, traqueidas helicoidales; m, vaso escalariforme.

Tabla 1. Valores promedio ($\pm$ Desviación Estándar), máximos y mínimos de variables morfoanatómicas estudiadas en los folíolos del huizache.

Variable	Media $\pm$ D.E. (μm)	Máx. (μm)	Mín. (μm)
Longitud del foliolo (mm)	2.60 $\pm$ 0.35	3.90	2.00
Ancho del foliolo (mm)	0.89 $\pm$ 0.13	0.60	1.10
Grosor del foliolo (mm)	224.85 $\pm$ 48.53	353.85	141.54
Grosor de cutícula en haz	4.15 $\pm$ 1.13	6.40	2.56
Grosor de cutícula en envés	4.40 $\pm$ 1.05	5.12	2.56
Longitud de células tabulares en haz	38.25 $\pm$ 8.87	64.00	23.04
Longitud de células tabulares en envés	22.63 $\pm$ 3.89	30.72	15.36
Ancho de células tabulares en haz	19.61 $\pm$ 3.44	25.60	12.80
Ancho de células tabulares en envés	12.29 $\pm$ 2.31	17.92	7.68
Altura de células epidérmicas en el haz	12.46 $\pm$ 1.42	15.36	10.24
Altura de células epidérmicas en el envés	9.32 $\pm$ 1.20	11.52	7.68
Longitud de células epidérmicas de la nervadura	31.85 $\pm$ 3.68	37.12	25.60
Ancho de las células epidérmicas de la nervadura	13.67 $\pm$ 1.15	15.36	12.80
Longitud de células oclusivas en el haz	15.05 $\pm$ 1.40	17.92	12.80
Ancho de células oclusivas en el haz	13.88 $\pm$ 0.88	15.36	12.80
Longitud de células oclusivas en el envés	20.28 $\pm$ 3.28	28.16	15.36
Ancho de células oclusivas en el envés	12.85 $\pm$ 2.35	15.36	7.68
Número de estomas/mm ² en el haz	162.00 $\pm$ 35.47	220.00	9.00
Número de estomas/mm ² en el envés	171.60 $\pm$ 35.08	230.00	100.00
Longitud de tricomas	87.45 $\pm$ 21.48	128.00	64.00
Ancho de tricomas	10.29 $\pm$ 2.26	15.36	7.68
Longitud de células de parénquima empalizada	43.73 $\pm$ 6.48	53.76	35.84
Ancho de células de parénquima empalizada	7.73 $\pm$ 1.59	10.24	5.12
Longitud de células de parénquima esponjoso	15.46 $\pm$ 3.32	23.04	10.24
Ancho de células de parénquima esponjoso	10.39 $\pm$ 2.23	15.36	7.68
Longitud de céls. de parénquima no fotosintético del xilema	47.10 $\pm$ 14.89	97.28	23.04
Ancho de céls. de parénquima no fotosintético del xilema	15.57 $\pm$ 4.73	28.16	10.24
Longitud de fibras	324.33 $\pm$ 160.57	788.58	131.43
Ancho de fibras	10.09 $\pm$ 2.77	17.92	5.12
Longitud de braquiesclereidas	28.37 $\pm$ 5.58	43.52	20.48
Ancho de braquiesclereidas	16.69 $\pm$ 4.19	30.72	7.68
Longitud de macroesclereidas	32.41 $\pm$ 6.78	48.64	20.48
Ancho de macroesclereidas	12.60 $\pm$ 1.21	15.36	10.24
Longitud de vasos escalariformes	154.52 $\pm$ 41.87	230.40	64.00
Ancho de vasos escalariformes	53.97 $\pm$ 22.74	120.32	20.48
Longitud de vasos helicoidales	211.87 $\pm$ 63.67	422.40	79.36
Ancho de vasos helicoidales	11.93 $\pm$ 2.39	17.92	7.68
Longitud de traqueidas helicoidales	141.41 $\pm$ 40.09	230.40	79.36
Ancho de traqueidas helicoidales	15.51 $\pm$ 3.51	23.04	7.68
Número de cristales/mm ²	389.60 $\pm$ 23.00	420.00	350.00
Diámetro de cristales	10.96 $\pm$ 1.81	12.80	7.68

Venación tipo camptódroma, llegando a ser casi eu-camptódroma ya que los nervios secundarios se van haciendo menos conspicuos hacia el margen y se interconectan con otros sin formar arcos visibles, pero algunas ramificaciones terminan libremente, además de presentar pocas venas secundarias (Tabla 1, Figura 2a).

El foliolo es grueso con un espesor de 224.85 μm , a este respecto Smith y Nobel (1978) mencionan que el grosor está relacionado con las altas temperaturas, ya que estas favorecen la formación de hojas más pequeñas y gruesas.

Epidermis

Esta es uniestratificada, con un grosor en el haz de 12.29 μm , en el envés es ligeramente más delgada, la cutícula tiene un grosor promedio de 4.15 μm en el haz y 4.40 μm en envés (Tabla 1, Figura 2b). Las células tabulares son poliédricas de 4-7 lados, similares en forma en el haz y envés, aunque más grandes en el haz (38.25 μm) que en el envés (22.63 μm).

Los estomas se presentan en ambas superficies, son principalmente de tipo paracítico (Figura 2c), aunque hay algunos de apariencia anomocítica, las células subsidiarias son de tamaño algo menor a las tabulares.

Cabe mencionar que algunas de las subsidiarias presentan divisiones transversales u oblicuas, lo que da un mayor número de células anexas. Las células oclusivas en el haz tienen una longitud promedio de 15.05 μm y una anchura de 13.88 μm , en tanto que en el envés miden 20.28 μm y 12.85 μm de ancho y largo, respectivamente. Con respecto al número de estomas tenemos que en el haz hay 162 estomas / mm^2 y en el envés 171.60 estomas/ mm^2 (Tabla 1).

Mesófilo

Parénquima en arreglo isolateral, es decir, parénqui-

ma en empalizada hacia ambos lados y esponjoso en el centro (Figura 2b). El parénquima en empalizada presenta células delgadas y alargadas con arreglo muy compacto 3-4 capas de células hacia cada lado, aunque el conjunto de capas del haz es más grueso.

Las células de empalizada tienen una longitud promedio de 43.73 μm y un ancho de 7.73 μm . El parénquima esponjoso está restringido a una banda muy angosta en el centro del foliolo, tiene una estructura compacta y sin espacios aéreos; sus células son algo redondas con 15.46 μm de longitud y 10.39 μm de ancho. Se sabe que la hoja de tipo isolateral y el aumento en la cantidad o número de capas de tejido de empalizada son características típicas xeromórficas (Hull y Bleckman, 1977; Bokhari y Hedge, 1977; Fahn, 1978; Rudall, 1979 y 1980; Johnson, 1980). No se presenta colénquima o parénquima no fotosintético alrededor de los haces vasculares.

Haces vasculares

Se aprecia un haz vascular central y haces secundarios en poca cantidad (Figura 2b), la disminución en el número de haces principales ha sido reconocido por Dehgan (1982) como una adaptación en las plantas de zonas áridas para economizar agua, por su parte Smith y Nobel (1986) mencionan que existe una relación lineal entre el área superficial de la hoja y el número de haces vasculares, por lo que si las xerófitas tienden a disminuir el tamaño de sus hojas es de esperarse que también disminuya el número de haces principales.

El xilema se encuentra orientado hacia el haz y el floema hacia el envés. Además, existe hacia afuera del xilema y floema casquetes de fibras. La porción xilema-floema es aproximadamente 1:1, el haz vascular está rodeado por una vaina de células parenquimáticas, estas células presentan un contenido oscuro y muchas de ellas tienen cristales de tipo rom-

boédrico, de una longitud promedio de 10.96 μm (Tabla 1, Figura 2e). Se aprecia también la presencia de macroesclereidas (Figura 2i), cuya longitud es de 32.41 μm y braquiesclereidas (28.37 μm de longitud, Figura 2k). Los vasos son del tipo helicoidal y escalariforme (Figura 2g y m), los helicoidales tienen una longitud mayor (211.87 μm) que los escalariformes (154.42 μm); los escalariformes son escasos, lo mismo que las braquiesclereidas y macroesclereidas.

Además de estos elementos conductores encontramos traqueidas helicoidales no muy abundantes (141.41 μm de longitud y 15.51 μm de ancho, Figura 2l). Las fibras son de paredes gruesas, pocas punteaduras y una longitud de 324.33 μm (Figura 2j). Células de parénquima poco abundantes.

Pecíolo

En sección transversal tiene una forma cilíndrica, con un profundo canal en la parte superior, formando dos alas (Tabla 1, Figura 2f). La epidermis y cutícula son similares a las de los folíolos, prácticamente es glabro.

El pecíolo presenta un haz vascular central y dos secundarios localizados en las alas. En el haz el xilema se encuentra ubicado en el centro del haz vascular central y alrededor se encuentra el floema, el cual es atravesado por 5-6 brazos de xilema que nacen del centro. Hacia afuera del xilema y floema se encuentran anillo de 2-3 capas de fibras y alrededor una capa de células parenquimáticas que contienen en su mayoría cristales de oxalato de calcio, romboédrica.

Los haces secundarios son similares excepto que el xilema no tiene brazos. En las capas de parénquima adyacentes a la epidermis, muchas células parenquimáticas tienen cristales romboédricos, aunque algunas otras tienen de tipo macla.

Conclusiones

La morfoanatomía de las hojas del huizache presentaron características que les permiten ser adaptables a los ambientes áridos y semiáridos, tales como folíolos pequeños y gruesos, cutícula gruesa principalmente en el haz, abundantes tricomas en ambas epidermis, mesófilo isolateral y estomas sólo en la epidermis abaxial.

Referencias

- Alvarado Vázquez M.A. (1997). Morfología y anatomía de la hoja de 10 especies de plantas de diferentes estratos del matorral xerófilo en el municipio de China, N.L., México. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. 227.
- Baranova M. (1992). Principles of comparative stomato-graphic studies of flowering plants. Bot Rev 5B: 49-99.
- Barrientos Ramírez L., Vargas Radillo J.J., Rodríguez Rivas A., Ochoa Ruiz H.G., Navarro Arzate F., Zorrilla J. (2012). Evaluación de las características del fruto de huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.) para su posible uso en curtiduría o alimentación animal. Maderas y Bosques 18(3): 23-35.
- Biradar S.R., Rachetti B.D. (2013). Extraction of some secondary metabolites & thin layer chromatography from different parts of *Acacia farnesiana* L. Journal of Pharmacy and Biological Science 7(5): 44-48.
- Bokhari M.H., Hedge Y.C. (1977). Anatomical observations on a desert group of *Salvia* species. Notes Roy. Bot. Gard-Edin. 35(3): 377-389.
- D'Ambrogio de Argüeso A. (1986). Manual de técnicas en histología vegetal. Primera edición. Editorial Hemisferio Sur, S.A. Argentina. 79.
- Dehgan B. (1982). Comparative anatomy of the petiole and infrageneric relationships in *Jatropha* (Euphorbiaceae). Amer. J. Bot. 69(8): 1283-1295.
- DETENAL. (1978). Carta edafológica. Clave G14C39. Escala 1:50000.

- Erkovan H.I., Clarke P.J., Whalley R.D.B. (2016). A review on general description of *Vachellia farnesiana* (L.) Wight & Arn. Ataturk Univ. J. of the Agricultural Faculty 47(1): 71-76
- Fahn A. (1978). Anatomía vegetal. Primera edición. Editorial H. Blume. Madrid, España. 643.
- Foroughbakhch P.R., Hauad L.A., Badii M.H., Flores A.E. (1994). Diversidad vegetativa de zonas semiáridas del noroeste de México. Calidad Ambiental 1(7): 23-25.
- Franceschi V.R., Horner H.T. (1980). Calcium oxalate crystals in plants. The Botanical Review 46(4): 361-416.
- García E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Autónoma de México. Series Libros, 6: 90.
- Hickey L. (1973). Classification of the architecture of dicotyledonous leaves. Amer. J. Bot. 60: 17-33.
- INEGI. (1986). Carta de efectos climáticos regionales. Clave G14-8 (Río Bravo). Escala 1:25000.
- Johansen D.A. (1940). Plant microtechnique. McGraw-Hill Book Company, INC. New York and London. 522.
- Johanson C.T. (1980). The leaf anatomy of *Leptospermum* Forst (Myrtaceae). Aust. J. Bot. 28: 77-104.
- Magaña Magaña J.E., González Anchondo M.E., Terrazas Gómez M.I., Baray Guerrero M. del R. (2023). Caracterización de la goma de mezquite (*Prosopis* spp) vs huizache (*Vachellia farnesiana*) de la Región de Naica, Saucillo, Chihuahua. Revista Biológico-Agropecuaria Tuxpan 11(2): 6-17.
- Metcalf C.R., Chalk L. (1950). Anatomy of dicotyledons. Vol II. Clarendon Press Oxford. 979-998.
- Orians G.H., Solbrig O.T. (1977). Convergent evolution in warm deserts. Dowden Hutchison & Ross, Inc. Pennsylvania, U.S.A. 52-105.
- Pérez Cruz Y.M., Noveron Neri I.A., Hernández Rodríguez D., Hernández Mendo O. (2022). El huizache (*Vachellia farnesiana*): una alternativa no convencional en la alimentación ovina. Agro-Divulgación 2(4): 37-39.
- Radford A.E., Dickson W.C., Nassey J.R., Bell C.R. (1974). Vascular plants systematics. Primera edición. Editorial Harper & Row Publishers. New York, U.S.A. 877.
- Ramos Álvarez C.H., González Medrano F. (1971). La vegetación de la zona árida veracruzana. Flora de Veracruz. Anales del Instituto de Biología, UNAM 43(1): 77-100.
- Reséndiz Flores N.S., García Núñez R.M., Hernández Martínez M.A., Uribe Gómez M., Leos Rodríguez J.A. (2016). Goma de mezquite y huizache como alternativa de aprovechamiento en sistemas agroforestales. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 16: 3251-3261.
- Rocha Estrada A., Torres Cepeda T.E., González de la Rosa Ma. del C., Martínez Lozano S.J., Alvarado Vázquez M.A. (1998). Flora ornamental en plazas y jardines públicos del área metropolitana de Monterrey, México. SIDA 18(2): 579-586.
- Rudall P. (1979). Leaf and twig anatomy of *Eriope* a xeromorphic genus of Labiatae. Botanical Journal of the Linnean Society 78: 157-180.
- Rudall P. (1980). Leaf anatomy of the subtribe Hyptidinae (Labiatae). Botanical Journal of the Linnean Society 80: 319-340.
- Smith W.K., Nobel P.S. (1978). Influence of irradiation soil water potential and leaf temperature on leaf morphology of leaf morphology of a desert broad leaf, *Encelia farinosa* Gray (Compositae). Amer. J. Bot. 65(4): 429-432.
- Sutcliffe J. (1977). Las plantas y el agua. Primera edición. Ediciones Omega. Barcelona, España. 2-63.
- Villarreal Quintanilla J.A., Estrada Castillón E. (2008). Listados florísticos de México XXIV. Flora de Nuevo León. Instituto de Biología, UNAM. México D.F. 153.
- Zerecero Leal G. (1981). Campos experimentales forestales. Ciencia Forestal 1: 4-16.

Evaluación Agronómica de Florus® y Boost® en la Productividad y Calidad Fitosanitaria de Papaya (*Carica papaya* L.)

L.A. Sumuano-Barragán¹, F. Flores-García¹ y D.M. Garza-García^{2*}

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía.
Av. Francisco I. Madero S/N, Ex Hacienda el Canadá, 66050,
General Escobedo, N.L. México

²Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas
Av. Pedro de Alba s/n, Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L. México. 66455

*Autor para correspondencia: misael.garzagr@uanl.edu.mx

Resumen

El presente estudio evalúa el impacto de bioestimulantes a base de microalgas sobre la fisiología reproductiva, sanidad vegetal y calidad del fruto en el cultivo de papaya (*Carica papaya* L.) en condiciones tropicales de Tapachula, Chiapas. Frente a los desafíos del cambio climático y el uso excesivo de agroquímicos, los bioestimulantes FLORUS® y BOOST® —formulados por la empresa mexicana GEXUS®— fueron aplicados como alternativa sostenible. FLORUS® promueve la floración, mientras que BOOST® fortalece la resistencia sistémica adquirida (SAR, por sus siglas en inglés). El ensayo se condujo en una hectárea de papaya híbrida, con aplicaciones foliares quincenales de FLORUS® y BOOST® desde la prefloración hasta la cosecha, totalizando 14 y 18 aplicaciones respectivamente. Las variables evaluadas incluyeron el número y tipo de flores, el amarre de frutos, incidencia de enfermedades y calidad postcosecha. Los resultados demuestran que los bioestimulantes mejoraron la eficiencia reproductiva, redujeron la presencia de enfermedades y contribuyeron a una mejor sanidad y firmeza del fruto, evidenciando el potencial de las microalgas como herramienta clave en la agricultura resiliente y sostenible.

Palabras clave: Microalgas, bioestimulante, agricultura, papaya

Abstract

This study evaluates the impact of microalgae-based biostimulants on reproductive physiology, plant health, and fruit quality in papaya (*Carica papaya* L.) crops grown un-

der tropical conditions in Tapachula, Chiapas. Faced with the challenges of climate change and the excessive use of agrochemicals, the biostimulants FLORUS® and BOOST®—formulated by the Mexican company GEXUS®—were applied as a sustainable alternative. FLORUS® promotes flowering, while BOOST® strengthens systemic acquired resistance (SAR). The trial was conducted on one hectare of hybrid papaya, with biweekly foliar applications of FLORUS® and BOOST® from pre-flowering to harvest, totaling 14 and 18 applications, respectively. The variables evaluated included the number and type of flowers, fruit set, disease incidence, and post-harvest quality. The results demonstrate that the biostimulants improved reproductive efficiency, reduced disease incidence, and contributed to improved fruit health and firmness, highlighting the potential of microalgae as a key tool in resilient and sustainable agriculture.

Keywords: Microalgae, biostimulant, agriculture, papaya

Introducción

Uno de los principales desafíos de la agricultura contemporánea es asegurar la productividad de los cultivos sin comprometer los recursos naturales ni la salud del ecosistema. Este reto se vuelve aún más apremiante ante el impacto creciente del cambio climático, que intensifica los eventos extremos como sequías, altas temperaturas y brotes de enfermedades, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria global

(Malhi *et al.*, 2021). Aunado a esto, los sistemas agrícolas convencionales, basados en el uso intensivo de agroquímicos, están generando una degradación acelerada de los suelos, pérdida de biodiversidad microbiana y una creciente dependencia externa de insumos costosos (Mitra *et al.*, 2021).

En este contexto, el uso de bioestimulantes representa una alternativa prometedora para transitar hacia sistemas agrícolas más sostenibles, eficientes y resilientes. Dentro de esta categoría, los bioestimulantes formulados a partir de microalgas han demostrado un alto potencial debido a su contenido de compuestos bioactivos como aminoácidos, fitorreguladores, antioxidantes, polisacáridos y vitaminas, los cuales promueven el crecimiento vegetal, mejoran la fisiología del cultivo y fortalecen su resistencia frente a factores de estrés biótico y abiótico (Kapoore *et al.*, 2021). Su aplicación ha sido particularmente relevante en cultivos frutales de alto valor comercial, donde los efectos benéficos se reflejan en mayor floración, mejor amarre de frutos, reducción de enfermedades y mejor calidad postcosecha.

La papaya (*Carica papaya* L.) es uno de los cultivos tropicales más importantes en México, ocupando una posición estratégica tanto en el consumo nacional como en la exportación hacia mercados como Estados Unidos y Canadá. Estados como Chiapas, Oaxaca y Veracruz lideran la producción nacional, representando una fuente significativa de ingresos y empleo rural. Sin embargo, este cultivo enfrenta importantes desafíos fitosanitarios y ambientales, como la alta incidencia de enfermedades virales y fúngicas, así como la vulnerabilidad frente a las variaciones climáticas, lo que compromete la estabilidad de la producción (Vázquez *et al.*, 2023).

Ante este panorama, se plantea el uso de bioestimulantes a base de microalgas como una herramienta viable para mejorar la eficiencia productiva y la sanidad del cultivo de papaya, contribuyendo además a fortalecer su resiliencia frente a los efectos del cambio climático. En el presente estudio se evaluó el impacto de la aplicación de los bioestimulantes FLO-

RUS® y BOOST®, desarrollados por GEXUS®, empresa mexicana de agrobiotecnología especializada en el aprovechamiento de microalgas para el sector agrícola (Miranda *et al.*, 2024). El objetivo fue analizar su efecto en el desarrollo reproductivo, la sanidad vegetal y la calidad del fruto en un cultivo de papaya ubicado en el municipio de Tapachula, Chiapas, como parte de una estrategia orientada a migrar hacia prácticas agrícolas más sostenibles y resilientes.

Materiales y métodos

Localización

El presente ensayo se realizó en el rancho “Águiles Serdán”, ubicado en el municipio de Tapachula, Chiapas, México. La zona se caracteriza por un clima tropical húmedo con temperaturas que oscilan entre los 22 °C y 34 °C, y una temporada de lluvias marcada entre los meses de junio y octubre. El ciclo agrícola evaluado corresponde al segundo semestre del año 2022.

Datos del cultivo

El estudio se llevó a cabo en una superficie de 1 hectárea sembrada con papaya híbrida, utilizando un diseño de plantación convencional para la zona. El trasplante se realizó en condiciones de campo abierto con manejo agronómico estándar para el cultivo comercial de papaya.

Tratamiento

Los tratamientos consistieron en la aplicación foliar de dos productos desarrollados por GEXUS®: FLO-RUS® y BOOST®. FLORUS® es un bioestimulante diseñado para inducir e incrementar la calidad de la floración, mientras que BOOST® actúa como activador del sistema de resistencia sistémica adquirida (SAR, por sus siglas en inglés) y promotor del desarrollo fisiológico.

Ambos productos se aplicaron en solución foliar, mezclando 500 mL por hectárea en 200 litros de agua, a partir de la etapa de prefloración (40–45 días,

después del trasplante) y continuando hasta la etapa de cosecha (110-180 días, después del trasplante), con una frecuencia de aplicación quincenal.

El número de aplicaciones y el volumen total aplicado de FLORUS® fue de 14 ocasiones, con una dosis acumulada de 7 litros, mientras que BOOST® se aplicó en 18 ocasiones, alcanzando un volumen total de 9 litros.

Diseño experimental y toma de datos

Para la evaluación se seleccionaron de forma aleatoria plantas distribuidas en diferentes puntos de la hectárea tratada, con el fin de garantizar una representación homogénea del cultivo. Las mediciones agronómicas de floración y amarre se realizaron durante 17 semanas desde el 26 de junio hasta el 22 de octubre del 2023, las evaluaciones fitosanitarias se realizaron desde el 20 de diciembre del 2023 hasta el 20 de enero del 2024. Adicionalmente, el 20 de enero de 2024 se evaluó la calidad del fruto en postcosecha mediante la determinación del porcentaje de incidencia de antracnosis en una muestra aleatoria de 40 frutos.

Resultados y discusión

Parámetros fisiológicos del desarrollo reproductivo

Se establecieron como métricas clave para evaluar el desempeño fisiológico del cultivo la cantidad y calidad de las flores, la eficiencia en el amarre de frutos y la incidencia de anomalías reproductivas como flores abortadas, deformes o el fenómeno del "verano estéril".

En cuanto al desarrollo floral, el tratamiento con bioestimulantes promovió un incremento del 4.6% en el número total de flores por planta en comparación con el testigo. Además, se observó una reducción del 36% en la aparición de flores tipo "chilillo" (flores no viables) y una disminución del 15% en flores deformes, lo que sugiere una mejora en la expresión genética y hormonal del cultivo. Uno de los hallazgos más relevantes fue la reducción del 36% en la incidencia

del "verano estéril", fenómeno asociado a periodos de baja floración o pérdida de sincronía reproductiva (Tabla 1).

En la etapa de amarre, el tratamiento con bioestimulantes mostró un incremento del 19.2% en el número de frutos amarrados por planta, siendo esta diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$). Este resultado destaca el efecto positivo de los bioestimulantes en el sostenimiento hormonal del fruto y su posible influencia en la translocación de fotoasimilados (Barreto *et al.* 2023).

Sanidad vegetal en planta

Para la sanidad en campo se consideraron la incidencia de enfermedades virales, deformaciones morfofisiológicas del follaje (peciolos curvos o rallados) y daños en el cogollo (arrepollamiento), tal como se muestra en la Figura 1.

En el tratamiento testigo se reportó el derribo de 7 plantas por afectación viral, mientras que en el tratamiento con GEXUS® no se registraron bajas atribuibles a virosis. Asimismo, la incidencia de peciolos curvos y/o rallados fue cinco veces menor en el tratamiento, registrándose únicamente 23 plantas afectadas frente a 119 en el testigo. Se observó también una reducción del 0.7% en el arrepollamiento del cogollo, indicativo de un mejor desarrollo apical y fisiología vegetal más estable (Tabla 2).

Estos resultados sugieren un efecto inmunomodulador de los bioestimulantes, posiblemente asociado a la activación de mecanismos de defensa inducida y mejora en la integridad celular bajo condiciones de estrés biótico (Berthon *et al.*, 2021).

Sanidad del fruto en planta y postcosecha

La incidencia de enfermedades en fruto fue evaluada tanto en campo como en etapa postcosecha. Durante el desarrollo en planta, el número promedio de frutos enfermos fue de 4.16 por planta en el tratamiento, frente a 5.25 frutos en el testigo a partir de una muestra de 80 plantas, diferencia que resultó estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

Tabla 1. Promedio del número de flores por planta de papaya, clasificado por tipo de flor.

No. Semana	Fecha	Testigo HP	Gexus HP	Testigo CH	Gexus CH	Testigo DF	Gexus DF	Testigo EV	Gexus EV	Testigo AB	Gexus AB
1	26 jun – 2 jul	0.68	0.58	0.08	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	2.15	2.30
2	03 – 09 jul	2.18	1.55	0.32	0.02	0.12	0.13	0.13	0.07	0.62	1.30
3	10 – 16 jul	1.68	1.28	0.00	0.00	0.38	0.23	0.10	0.02	0.50	1.28
4	17 – 23 jul	1.98	1.82	0.00	0.00	0.25	0.13	0.00	0.00	0.45	0.85
5	24 – 30 de jul	3.30	2.27	0.03	0.00	0.05	0.30	0.00	0.00	0.78	0.98
6	31 jul – 6 ago	3.03	3.27	0.00	0.05	0.08	0.10	0.00	0.00	2.00	0.40
7	07 – 13 ago	3.05	3.20	0.03	0.03	0.05	0.10	0.00	0.00	0.08	0.78
8	14 – 20 ago	1.83	1.93	0.00	0.07	0.40	0.03	0.00	0.00	0.08	1.45
9	21 – 27 ago	0.37	0.48	0.00	0.00	0.12	0.08	0.00	0.00	1.98	2.50
10	28 ago – 3 sep	0.63	0.92	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40	2.52
11	4 – 10 sep	2.00	1.53	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	1.62	1.67
12	11 – 17 sep	2.35	1.38	0.00	0.00	0.35	0.35	0.00	0.00	1.35	1.85
13	18 – 24 sep	2.22	1.70	0.00	0.00	0.27	0.27	0.00	0.00	0.66	1.38
14	25 sep – 01 oct	3.67	3.07	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	1.00	1.22
15	02 – 08 oct	2.17	2.55	0.07	0.02	0.07	0.02	0.00	0.00	0.82	1.05
16	09 – 15 oct	2.97	2.33	0.02	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.25	2.38
17	16 – 22 oct	1.80	2.38	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	1.80	2.97

HP= Flores hermafroditas; CH = Chilillo; DF= deformes; EV = Estéril de verano y AB = Aborto

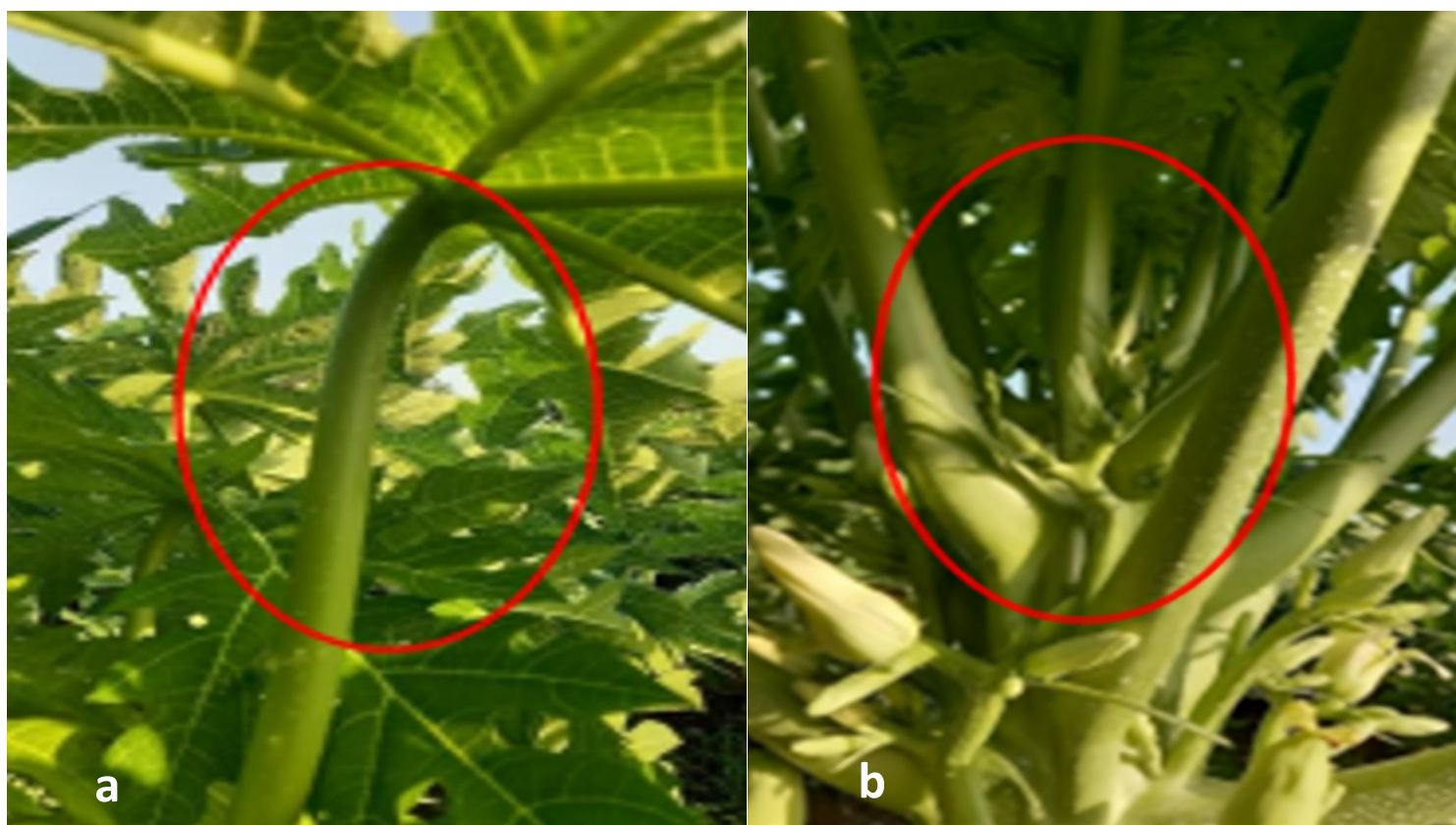


Figura 1. a) Peciolo curvo y b) Arrepollamiento del cogollo en planta de papaya

Tabla 2. Sanidad de las plantas.

Variable	GEXUS	Testigo
Firmeza	1.50	7.76
°Brix	10.00	10.30
% Frutos con antracnosis	0.26	0.33

En etapa postcosecha, particularmente en condiciones de alta humedad ambiental, se reportó una reducción del 15% en la incidencia de antracnosis en frutos provenientes del tratamiento con bioestimulantes. Esta disminución tiene un impacto directo en la reducción de mermas comerciales y mejora la vida útil del producto (Tabla 3).

Calidad física del fruto

Se incluyeron como variables de calidad el peso, volumen y densidad promedio del fruto cosechado. Si

bien el peso y volumen no mostraron diferencias significativas entre tratamientos, la densidad del fruto fue mayor en el tratamiento con bioestimulantes, lo cual puede estar relacionado con un mayor contenido de sólidos solubles y mejor acumulación de materia seca, aspectos directamente vinculados a la firmeza, sabor y conservación del fruto. Estas características pueden estar promovidas por los metabolitos activos de las microalgas, que estimulan procesos como la fotosíntesis, el desarrollo radicular y la eficiencia en la asimilación de nutrientes, como ha sido reportado por autores como Braun & Colla (2023).

Varios estudios recientes respaldan el efecto positivo de los bioestimulantes a base de microalgas en cultivos tropicales y hortícolas, observando mejoras tanto en el vigor vegetativo como en la resistencia a enfermedades. Por ejemplo, Alfonso *et al.* (2024) reportaron que la aplicación foliar de microalgas en cultivos tropicales incrementó significativamente la floración y redujo la incidencia de virosis, mientras que Pérez-

Tabla 3. Sanidad del fruto en etapa postcosecha.

Síntoma	GEXUS	Testigo
Pecíolo curvo y/o rallado	1.50	7.76
Piel de rana	0.00	0.00
Arrepollamiento del cogollo; corte grillo	0.26	0.33
Flores y frutos aún sin cuajar sin presencia de hongos	0.00	0.00
Hongo en el follaje	0.00	0.00
Virosis	0.00	0.065

Madruga *et al.* (2020), destacaron su papel en la activación de rutas metabólicas asociadas al crecimiento y defensa vegetal. Estos hallazgos refuerzan la hipótesis de que los metabolitos activos presentes en las microalgas, como polisacáridos sulfatados, aminoácidos y compuestos fenólicos, estimulan rutas hormonales clave como las del ácido jasmónico y las auxinas, con efectos directos sobre la fisiología reproductiva y la integridad celular.

Conclusiones

Estos resultados evidencian que la aplicación de bioestimulantes a base de microalgas de GEXUS® contribuye significativamente a mejorar la eficiencia reproductiva, la sanidad vegetal y la calidad del fruto en el cultivo de papaya, sin efectos negativos sobre la productividad ni sobre los parámetros físicos del fruto. El aumento en el amarre de frutos, la reducción de enfermedades y la mejora en la densidad pueden atribuirse al efecto fisiológico de los metabolitos bioactivos de las microalgas, que promueven rutas hormonales clave, el fortalecimiento de paredes celulares y la activación de respuestas de defensa. La consistencia de los resultados positivos en variables fisiológicas, sanitarias y físicas refuerza el potencial del uso de bioestimulantes de microalgas como una estrategia sostenible para optimizar la producción y rentabilidad en frutales tropicales como la papaya.

Agradecimientos

Especial agradecimiento a la Doctora Vilma Castellanos Morales por su participación en la evaluación y recopilación de datos.

Referencias

Malhi, G.S., Kaur, M., & Kaushik, P. (2021). Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. *Sustainability*, 13(3), 1318. <https://doi.org/10.3390/su13031318>

Mitra, B., Chowdhury, A.R., Dey, P., Hazra, K.K., Sinha, A.K., Hossain, A., & Meena, R.S. (2021). Use of Agrochemicals in Agriculture: Alarming Issues and Solutions. In *Input Use Efficiency for Food and Environmental Security* (pp. 85–122). Springer Nature Singapore.

Kapoor, R.V., Wood, E.E., & Llewellyn, C.A. (2021). Algae biostimulants: A critical look at microalgal biostimulants for sustainable agricultural practices. *Biotechnology Advances*, 49(107754), 107754. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107754>

Vázquez Alfaro, M., Cisneros Saguilán, P., Velasco Galeana, B. R., Hernández Bernardino, A.A., & Antonio Méndez, I. (2023). Social and Economic Analysis of the Production of Maradol Papaya (*Carica papaya* L.): Case study in the coast of Oaxaca, Mexico. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v16i4.2473>

Miranda, A.M., Hernandez-Tenorio, F., Villalta, F., Vargas, G.J., & Sáez, A.A. (2024). Advances in the development of biofertilizers and biostimulants from microalgae. *Biology*, 13(3), 199. <https://doi.org/10.3390/biology13030199>

Alfonso, E. T., Guerrero, Y.R., Padrón, J. R., & Sosa, Y.C. (2024). Las algas y sus usos en la agricultura. *Revista Cultivos Tropicales*. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1791>

Pérez-Madruga, Y., López-Padrón, I., & Reyes-Guerrero, Y. (2020). Las algas como alternativa natural para la producción de diferentes cultivos. *Cultivos Tropicales*, 41(2), e09. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v41n2/1819-4087-ctr-41-02-e09.pdf>

Barreto, G., Petry, C., Silveira, D., Trentin, T., Turmina, A.P., & Chiomento, J.L. (2023). Use of biostimulants in fruiting crops' sustainable management: A narrative review. *Latin American Developments in Energy Engineering*, 4(1), 29–48. <https://doi.org/10.17981/ladee.04.01.2023.3>

Berthon, J.-Y., Michel, T., Wauquier, A., Joly, P., Gerbore, J., & Filaire, E. (2021). Seaweed and microalgae as major actors of blue biotechnology to achieve plant stimulation and pest and pathogen biocontrol – a review of the latest advances and future prospects. *The Journal of Agricultural Science*, 159(7–8), 523–534. <https://doi.org/10.1017/s0021859621000885>

Braun, J.C.A., & Colla, L.M. (2023). Use of microalgae for the development of biofertilizers and biostimulants. *Bioenergy Research*, 16(1), 289–310. <https://doi.org/10.1007/s12155-022-10456-8>

