



ABANICO AGROFORESTAL Vol. 7 ENERO-DICIEMBRE 2025 ISSN 2594-1992



Indizada en Dialnet, Index Copernicus, REDIB, LATINDEX, Root Indexing, Scholar Google, Actualidad Iberoamericana, CROSSREF, Citefactor, BIBLAT, Abanico Index, I2OR, Accensum, WorldCat, Biblioteca CCG-IBT UNAM.

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-agroforestal>



ABANICO AGROFORESTAL (Abanico Agrof.) es una revista internacional, arbitrada e indizada que publica información científica y tecnológica de las ciencias de la agricultura. Su objetivo es publicar artículos de investigaciones, notas cortas, desarrollos tecnológicos, descripción de cultivares, estudio de casos, políticas de educación y revisiones de literatura realizados en México y en cualquier parte del mundo, todos relacionados con las ciencias agrícolas, forestales y producción animal. Dirigida a profesores, estudiantes, profesionistas, investigadores y empresarios interesados en las actividades agrícolas, forestales y la producción animal. Es una publicación continua bajo el sistema de ciencia abierta en acceso, se invita a los autores a poner disponible todos los datos. Presente en index, repositorios y bases de datos para una mayor visibilidad e incremento de citas; cuenta ISSN para formato web 2594-1992, DOI 10.37114/abaagrof; con página web <https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-agroforestal/index> . Tiempo de recibido y aceptado entre seis y doce meses. Por ser una revista de acceso abierto los autores pagarán la cuota vigente para gastos contables, edición, publicación, difusión, traducción al inglés, portugués o al español, DOI, marcación, XML-JATS, revisión de plagio, pagos contables y fiscales.

La revista es editada y publicada por Abanico Académico, editorial registrada en el Indautor de México. En el RIZOMA aparece como institución Pública-Federal. La editorial pertenece a una Persona Física: Sergio Martínez González, con RFC MAGS690517979. Valle Bravo 16, Colonia Valle Dorado. CP. 63180. Tepic, Nayarit, México. CVU: 120948. Número de Registro de Personas Físicas con Actividad Empresarial en la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación de México: 1802044.

CINTILLO LEGAL. Abanico Agroforestal, Año 7, Volumen 7, Enero-Diciembre 2025. Publicación continua, editada por Sergio Martínez González, Calle Tezontle 171, Colonia El Pedregal, Tepic, Nayarit, México, C.P. 63164, Tel 01 311 1221626, abanicoagroforestal@gmail.com. Editor responsable: Susana Ramírez Sánchez. Cuenta para formato web ISSN 2594-1992 y reserva de derechos al uso exclusivo y 04-2018-083110130800-203 respectivamente, gestionados en el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Sergio A Martínez Orozco, Calle Mina 262. Colonia Centro, Tepic, Nayarit, México. CP. 63000, fecha de la última modificación, 08-12-2025.



Abanico Agroforestal, Año 7, Volumen 7, Enero-Diciembre 2025

Contenido

Artículos de Investigación

Análisis espacio temporal de la investigación científica para estimar daños agrícolas por inundaciones.

Aplicación de insumos orgánicos: su efecto en variables de calidad del fruto de jitomate.

Germinación in vitro de *Ibervillea sonora* (S. Watson) Greene.

Obtención de callogénesis y organogénesis de *Ibervillea sonora* (S. Watson) Greene

Ribotipificación de bacterias patógenas mesófilas aisladas de composta de cuyinaza

Notas de investigación

Reproducción de plántulas de orégano (*Lippia palmeri* S. Watson) en almácigo

Revisión de Literatura

Presencia de plaguicidas e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), en aguas residuales en zonas rurales: revisión y métodos analíticos



Abanico Agroforestal. Enero-Diciembre 2025; 7:1-12. <http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/2025.1>
Artículo original. Recibido: 05/10/2024. Aceptado: 18/01/2025. Publicado: 02/02/2025. Clave: e2024-27
<https://www.youtube.com/watch?v=7MagiFhofd4>

Análisis espacio temporal de la investigación científica para estimar daños agrícolas por inundaciones

Spatiotemporal analysis of scientific research to estimate agricultural
damage from flooding



Escobar-Castillo Judith^{*1} , Vera-López Javier² , Tadeo-Noble Alfredo³ , García-
García Guillermo⁴ , Vásquez-Bautista Nehemías⁵ , Santillán-Fernández
Alberto^{**3} 

¹Universidad Autónoma de Campeche, México. C.P. 24062. ²Colegio de Posgraduados, Campus Campeche, Champotón, Campeche, México. C.P. 24450. ³Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología CONAHCYT, Colegio de Postgraduados Campus Campeche, México. C.P. 24450. ⁴Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza, Venustiano Carranza, Puebla, México. C.P. 73049. ⁵Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. C.P. 29030. *Autor principal: Escobar Castillo Judith. **Autor de correspondencia: Santillán-Fernández Alberto, Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología CONAHCYT, Colegio de Postgraduados Campus Campeche, C.P. 24450, Champotón, Campeche, México. E-mail: al065409@uacam.mx, jvera@colpos.mx, tadeo.esteban@colpos.mx, garcia@itsvc.edu.mx, nvasquez@fira.gob.mx, santillan.alberto@colpos.mx

Resumen

El objetivo del presente estudio fue analizar los artículos científicos sobre estimación de daños agrícolas por inundaciones, mediante indicadores bibliométricos, para determinar cultivos de interés y metodologías de análisis. Se revisó la base de datos bibliográfica Scopus para el periodo 2000-2022. Las palabras clave utilizadas en la búsqueda fueron “flood damage to crops” y “flooding in crops”. Se recopilaron 236 textos, en su mayoría de países asiáticos. Los cultivos agrícolas de mayor análisis, fueron para países asiáticos, el arroz (China y Bangladesh), caña de azúcar (India), y hortalizas (Japón); para países europeos la vid (Francia e Italia) y el trigo (Alemania y España); y en América el maíz (USA y México) y frijol (México). Dentro de los modelos de simulación, los más recurrentes fueron HEC-RAS, MIKE 21 Flow Model FM, e imágenes de satélite; que combinaron en el análisis de datos los enfoques: empírico (datos de daños recopilados después de eventos de inundación) y sintético (datos recopilados a través de cuestionarios). Para el caso de México se documentó poca investigación, lo que representa un área de oportunidad. Sin embargo, se debe considerar que en este estudio solo se analizaron publicaciones en inglés y de la base de datos Scopus.

Palabras clave: bibliometría, HEC-RAS, inundaciones, MIKE 21 Flow Model FM, riesgo agrícola.

Abstract

The objective of this study was to analyze scientific articles on the estimation of agricultural damage due to flooding using bibliometric indicators, to determine crops of interest and analysis methodologies. The Scopus bibliographic database was reviewed for the period 2000-2022. The keywords used in the search were “flood damage to crops” and “flooding in crops.” A total of 236 texts were collected, mostly from Asian countries. The agricultural crops analyzed more frequently were, in Asian countries: rice (China and Bangladesh), sugarcane (India), and vegetables (Japan); in European countries: vineyards (France and Italy) and wheat (Germany and Spain); and in America: corn (USA and Mexico) and beans (Mexico). Among



the simulation models, the most recurrent were HEC-RAS, MIKE 21 Flow Model FM, and satellite imagery, which combined empirical approaches (damage data collected after flooding events) and synthetic approaches (data collected through questionnaires) for data analysis. In the case of Mexico, little research was documented, representing an area of opportunity. However, it should be noted that this study only analyzed publications in English and from the Scopus database.

Keywords: bibliometrics, HEC-RAS, flooding, MIKE 21 Flow Model FM, agricultural risk.

INTRODUCCIÓN

A escala mundial, las inundaciones son los fenómenos más devastadores, principalmente por los desbordamientos de ríos de forma repentina, a consecuencia de fuertes precipitaciones, afectando especialmente a la población y algunas actividades económicas, entre estas la agricultura ([Baltazar et al., 2021](#)). A medida que el cambio climático continúa exacerbando fenómenos meteorológicos extremos, se espera que los eventos, las áreas propensas a inundaciones y los daños relacionados con inundaciones crezcan exponencialmente ([Molinari et al., 2019](#); [Swaminathan & Rengalakshmi, 2016](#); [Ward et al., 2011](#)).

Para la evaluación de los daños por inundación en el sector agrícola se han propuesto varios métodos desarrollados principalmente en países europeos, cuyas metodologías se diferencian según la escala y exactitud de análisis, tamaño del área de estudio, recursos requeridos y la cantidad de datos necesarios para aplicar modelos numéricos disponibles ([Scorzini et al., 2021](#); [Baltazar et al., 2021](#); [Vega et al., 2018](#)). Los daños por inundaciones consisten en todos los efectos nocivos de una inundación en una comunidad: impactos en las personas, su salud y sus pertenencias, impactos en la infraestructura pública, el patrimonio cultural y los sistemas ecológicos, así como impactos en la producción industrial y la fuerza competitiva ([Molinari et al., 2014](#)).

Los daños por inundaciones se clasifican en directos e indirectos ([Messner & Meyer, 2006](#)), los primeros son aquellos que se producen por el contacto físico del agua de la inundación con seres humanos y bienes, mientras que los daños indirectos son inducidos por los impactos directos y ocurren en el espacio y tiempo fuera del evento de inundación ([Baltazar et al., 2021](#)). En el sector agrícola los daños por inundaciones incluyen pérdidas de productos agrícolas, daño a la infraestructura agrícola, así como afectaciones en la reducción del rendimiento y calidad de la producción, como consecuencia de la alteración de la calidad del suelo ya sea por deposición de contaminantes, compactación o erosión ([Merz et al., 2010](#)).

En la literatura sobre modelización de daños por inundaciones, la agricultura ha recibido menos atención que otros sectores ([Tapia et al., 2011](#)). Las razones pueden incluir la menor importancia de pérdidas agrícolas en comparación con las de otros sectores, especialmente porque las evaluaciones de daños por inundaciones generalmente se realizan en áreas urbanas ([Förster et al., 2008](#)) o bien por la escasez de datos empíricos



para comprender mecanismos de daño y derivación de modelos de predicción (Molinari *et al.*, 2019).

El crecimiento de la producción científica en las últimas décadas y su indexación en bases de datos bibliográficas automatizadas han potenciado el uso de la bibliometría, con la finalidad de medir la calidad de la investigación. Los estudios bibliométricos basados en los artículos científicos publicados se apoyan en la aplicación de métodos cuantitativos, generan indicadores y modelos matemáticos, que permiten evaluar la calidad de las publicaciones y la relevancia de los temas de investigación (Santillán *et al.*, 2021).

Bajo este contexto el objetivo del presente estudio fue analizar los artículos científicos sobre estimación de daños agrícolas por el riesgo de inundaciones, mediante un análisis bibliométrico, para determinar cultivos de interés y metodologías de análisis.

MATERIAL Y MÉTODOS

Origen de la información

En enero de 2023 se recopilaron artículos científicos asociados a temas de estimación de daños en la agricultura por inundación. El periodo de análisis fue de 2000 a 2022 y se consideraron las publicaciones de revistas de Scopus por tener una mayor cantidad de artículos científicos indexados dentro de las diferentes bases de datos bibliográficas (Scopus, 2023). Solo se consideraron artículos en inglés, debido a que es más probable que los artículos científicos en inglés se citen; lo que permite capturar la gran mayoría de las publicaciones relevantes (Leipold, 2014).

Las palabras clave para la búsqueda de los textos fueron “flood damage to crops”, y “flooding in crops”. Mediante un análisis de contenido se descartaron aquellos artículos científicos que no incluyeron metodología de análisis sobre algún cultivo agrícola. Las variables analizadas de cada uno de los textos recopilados fueron: año de publicación, nombre de la revista, y número de citas. Después, con el análisis de contenido, se ubicó de cada artículo, el país de origen del primer autor, el cultivo agrícola y metodología de análisis. Toda esta información se capturo en una hoja de cálculo.

Análisis espacio temporal

Se siguió la metodología descrita por Santillán *et al.* (2021). Se construyó una gráfica de temporalidad de la producción científica con la ayuda de las variables año de publicación, y número de citas. También se ubicó espacialmente a los países de origen del primer autor, con la finalidad de conocer donde se ha desarrollado la investigación sobre estimación de daños por inundación en cultivos agrícolas. Para la representación espacial se recurrió al paquete geográfico ARGIS® (Esri, 2015).



Indicadores bibliométricos

Se generaron indicadores bibliométricos de revistas que publicaron con mayor frecuencia; artículos más citados; principales modelos, cultivos y metodologías de análisis para la estimación de daños por inundación en cultivos agrícolas. Para el caso de México se asoció la distribución espacial de las instituciones que desarrollaron investigación, con las áreas de producción de los cultivos agrícolas analizados (SIAP, 2023).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis espacio temporal

De 2000 a 2022 se recopilaron un total de 236 artículos científicos, lo que dio origen a 12, 564 citas bibliográficas (Figura 1). A partir de 2010 se incrementó el número de publicaciones (187 artículos). De los 236 textos, 221 se publicaron en inglés, y el resto en español, francés y chino. De acuerdo con Skakavac *et al.* (2017) el incremento en las publicaciones sobre riesgos por inundaciones en el sector agrícola se ha dado como consecuencia del cambio climático que compromete la productividad agrícola y el abasto de alimentos a nivel mundial.

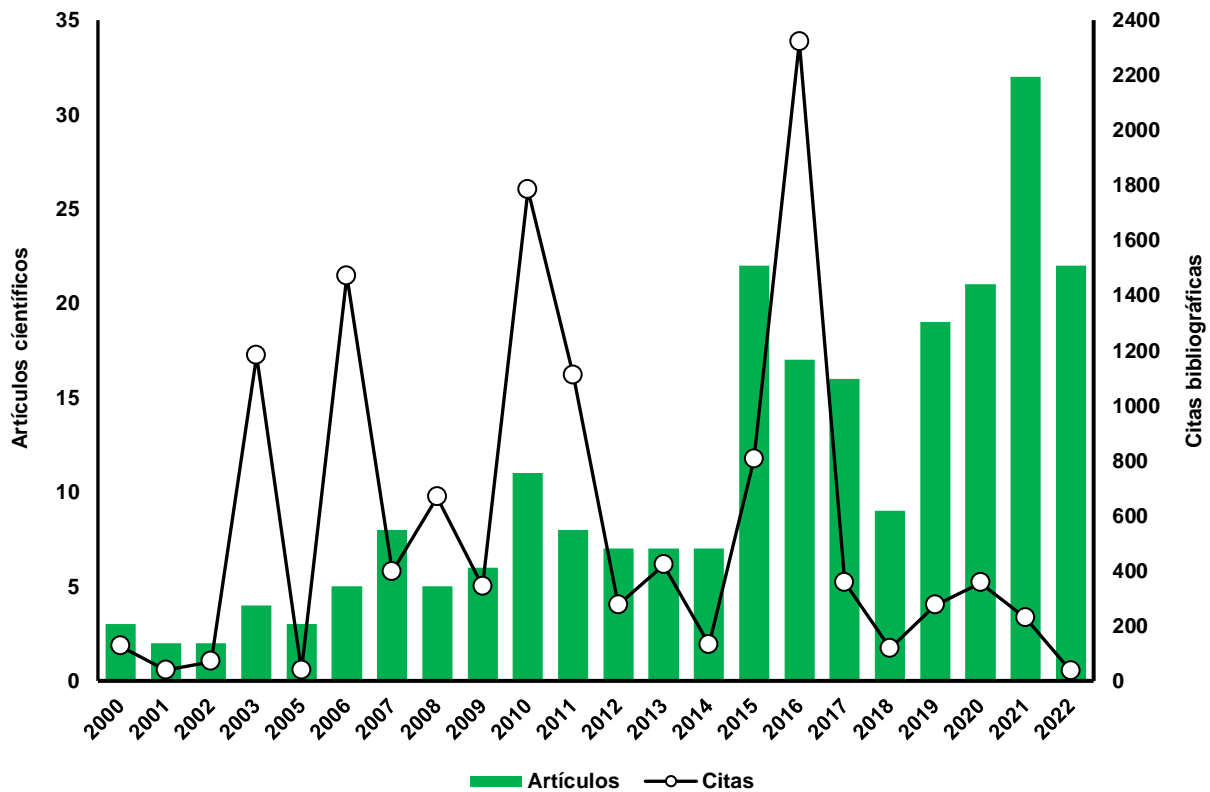


Figura 1. Evolución temporal de producción científica y citas bibliográficas sobre el tema de estimación de daños por inundación en cultivos agrícolas a nivel mundial del año 2000 al 2022



Los artículos científicos identificados (236), de acuerdo al país de origen del primer autor se realizaron en 43 países. Del total de estudios, el 64.83% (153 trabajos) se concentraron en 9 países: Japón (31 artículos, 13.14%), China (29, 12.29%), Estados Unidos (23, 9.75%), India (23, 9.75%), Bangladesh (11, 4.66%), Pakistán (11, 4.66%), Australia (9, 3.81%), Italia (8, 3.39%) y México (8, 3.39%). Estos países se localizan en el hemisferio norte del planeta tierra, lo que, de acuerdo con [Díaz \(2012\)](#) los coloca en una situación más vulnerable a los efectos del cambio climático, por lo que tienden a invertir más recursos para su prevención y adaptación.

A nivel mundial los países asiáticos ocuparon la mayor producción científica (Figura 2), ello se debe a que en Asia los desastres naturales son más frecuentes y devastadores, en especial los asociados con agua que se relacionan directamente con la productividad agrícola, la salud, la escasez de alimentos, el aumento de precios en los productos agropecuarios, e incluso la desnutrición ([Díaz, 2012](#)). Para el caso de América destacó USA y México, en gran medida por la tradición agrícola de ambos países ([FAOSTAT, 2024](#)).

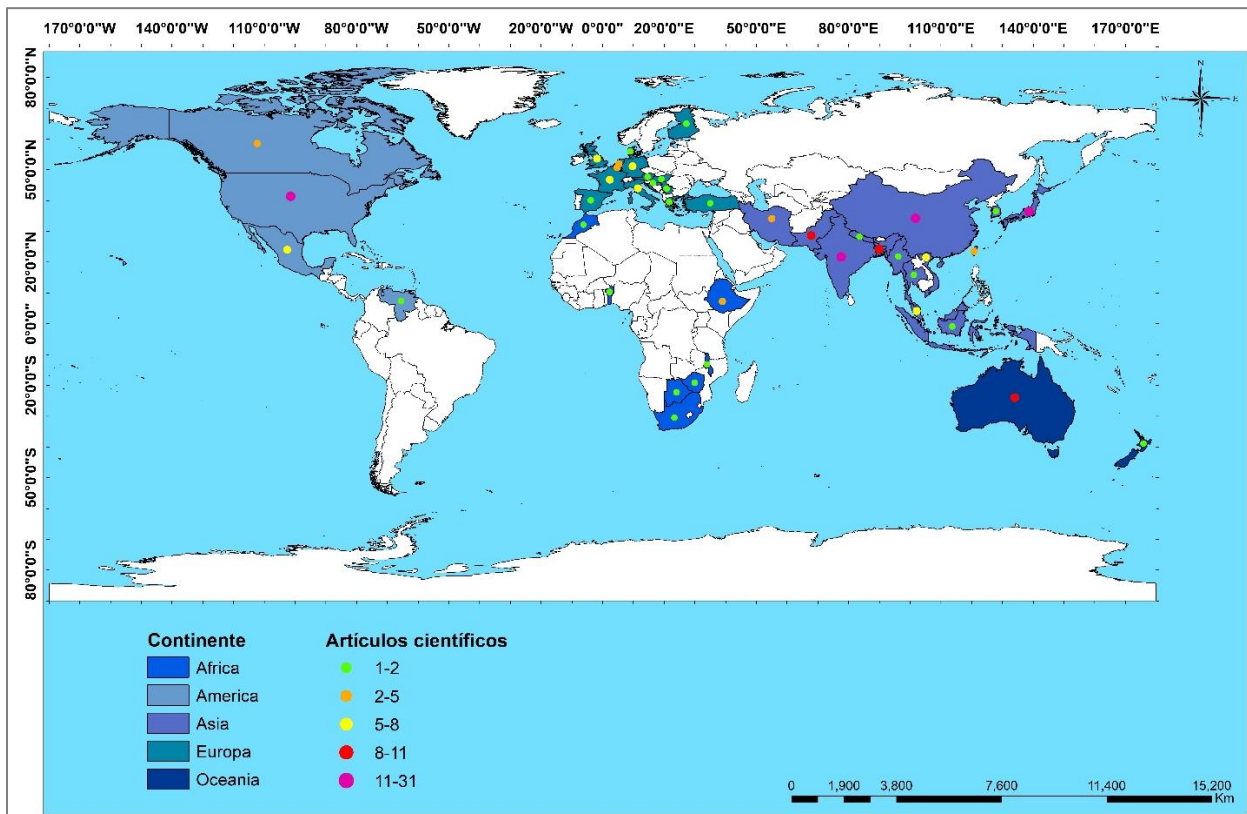


Figura 2. Relación espacial de la producción de artículos científicos sobre el tema de estimación de daños en zonas agrícolas por inundación del año 2000 al 2022

Los cultivos agrícolas de mayor análisis, fueron para el caso de los países asiáticos, el arroz (China y Bangladesh), caña de azúcar (India), y hortalizas (Japón), mientras que



en los países europeos destacaron la vid (Francia e Italia) y el trigo (Alemania y España); y en América el maíz (USA y México) y frijol (México). [Mokhtari et al. \(2017\)](#) documentaron que, en la atención de problemas asociados a las inundaciones en cultivos agrícolas, los investigadores suelen analizar los cultivos de mayor relevancia para sus países, debido a que son base de su alimentación.

Las metodologías de riesgo por inundación para cultivos agrícolas, han experimentado cambios notables en las últimas décadas, han pasado de la descripción de los fenómenos y de sus consecuencias desde un punto de vista físico (peligrosidad); al estudio de los factores que ocasionan un impacto mayor o menor de su ocurrencia, como los factores socio-territoriales (vulnerabilidad y exposición) ([Bhakta & Kawasaki, 2020](#)).

El 79.23% de los textos analizados (187) trabajaron modelos de simulación para estimar el comportamiento de las inundaciones y el área afectada, calculando los caudales máximos anuales y asociando estos a eventos extremos como los huracanes. Dentro de los modelos de simulación, los más recurrentes fueron HEC-RAS (Hydrological Engineering Center – River Analysis System), con 71 textos (30.08%), y MIKE 21 Flow Model FM (43, 18.22%).

Sin embargo, en los últimos años el empleo de la percepción remota por medio de imágenes de satélite, comenzó a ser una metodología recurrente y eficaz, que se utilizó en el 5.93% (14) de los artículos científicos analizados. [Rahman & Di \(2020\)](#) encontraron que el avance de la tecnología ha permitido generar nuevos modelos para estimar los riesgos por inundaciones en cultivos agrícolas, desde su fenología, desarrollo, e incluso a futuro con predicciones a 5, 10, 20, 100 y 200 años.

Indicadores bibliométricos

Los 236 artículos científicos fueron publicados en 133 revistas científicas diferentes. Las revistas con el mayor número de publicaciones fueron editadas en países de Europa y en idioma inglés con factores de impacto superiores a 2 y de cuantiles Q1 y Q2 (Tabla 1). [Santillán et al. \(2021\)](#) encontraron que las publicaciones en inglés y el factor de impacto de las revistas aumentan la probabilidad de relevancia de los estudios (medido por el número de citas), debido a que la comunidad científica ha adoptado al inglés como su idioma universal.

Los 10 estudios más citados sobre el tema de estimación de daños en cultivos por inundaciones (Tabla 2), combinaron en sus metodologías de análisis de datos, el enfoque empírico y sintético. El enfoque empírico, utiliza datos de daños recopilados después de eventos de inundación y el enfoque sintético utiliza datos recopilados a través de cuestionarios ([Lesk et al., 2016](#)). Además, los análisis mostrados por estos artículos también coincidieron en el uso de métodos que involucraron una combinación entre las



características hidráulicas del evento de inundación (profundidad y duración), la información sobre el uso de suelo y la implementación de algún modelo numérico.

Tabla 1. Indicadores bibliométricos de las principales revistas que publicaron artículos científicos sobre la estimación de daños agrícolas por inundación a nivel mundial desde el 2000 al 2022, ordenados según el número de artículos publicados

Revista	País	Institución	WoS (2021)		Número	
			Factor	Cuartil	Artículos	Citas
Natural Hazards	Holanda	Springer	3.685	Q1	27	1339
ITD-Risk Reduction	Reino Unido	Elsevier	4.842	Q1	9	127
PD- Environment	Alemania	Springer	1.924	Q2	8	99
NHES-Sciences	Alemania	European-GU	4.345	Q1	7	1613
Journal of Hydrology	Holanda	Elsevier	6.708	Q1	6	963
Sustainability	Suiza	MDPI	3.889	Q2	6	29
JFR-Management	Dinamarca	Blackwell PI	4.005	Q1	5	248
LD-Development	Reino Unido	Jhon Wiley	4.377	Q1	4	86
PC-Earth	Reino Unido	Elsevier	3.575	Q2	4	256
ST-Environment	Holanda	Elsevier	10.753	Q1	4	77
Otras (123)					236	12564

ITD-Risk Reduction: International Journal of Disaster Risk Reduction; PD-Environment: Paddy and Water Environment; NHES-Sciences: Natural Hazards and Earth System Sciences; JFR-Management: Journal of Flood Risk Management; LD-Development: Land Degradation and Development; PC-Earth: Physics and Chemistry of the Earth; ST-Environment: Science of the Total Environment; European-GU: European Geosciences Union; Blackwell PI: Blackwell Publishing Inc.

Tabla 2. Indicadores bibliométricos de los principales artículos científicos sobre estimación de daños en cultivos por inundaciones a nivel mundial desde 2000 a 2022, ordenados con base al número de citas bibliográficas

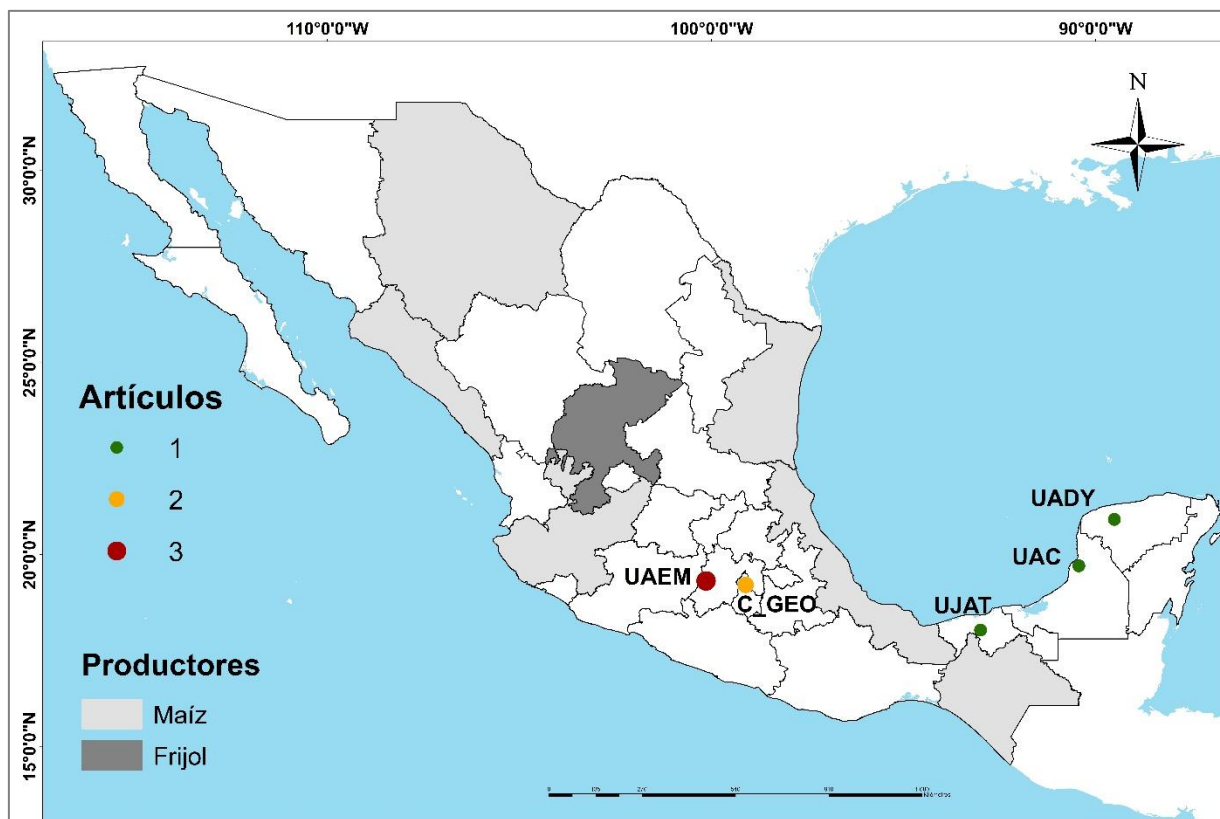
Artículo	Primer Autor		Revista		Citas
	País	Institución	Nombre	País	
Lesk et al. (2016)	Canadá	Universidad McGill	Nature	Reino Unido	1967
Merz et al. (2010)	Alemania	CAI-Geociencias	NHES-Sciences	Alemania	1613
De-Moel & Aerts (2011)	Holanda	UL-Ámsterdam	Natural Hazards	Holanda	1339
Dutta et al. (2003)	Japón	U-Tokio	Journal of Hydrology	Holanda	963
Messner & Meyer (2006)	Alemania	CIA Leipzig-Halle	NATO Science	Alemania	702
Scawthorn et al. (2006)	Japón	Universidad de Kioto	NH-Review	USA	653
Jonkman et al. (2008)	Reino Unido	Universidad de Cranfield	E-Economics	Holanda	454
Van-De-Sande et al. (2003)	Holanda	Holanda Geomática	IJAEOG	Holanda	453
Mirza (2011)	Canadá	UT-Scarborough	RE-Change	Alemania	341
Dewan (2015)	Bangladesh	UINAT	Weather-CE	Holanda	259

CAI-Geociencias: Centro Alemán de Investigación de Geociencias; UL-Ámsterdam: Universidad Libre de Ámsterdam; U-Tokio: Universidad de Tokio; CIA Leipzig-Halle: Centro de Investigación Ambiental Leipzig-Halle; UT-Scarborough: Universidad de Toronto en Scarborough; UINAT: Universidad Internacional de Negocios, Agricultura y Tecnología; NHES-Sciences: Natural Hazards and Earth System Sciences; NH-Review: Natural Hazards Review; E-Economics: Ecological Economics; IJAEOG: International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation; RE-Change: Regional Environmental Change; Weather-CE: Weather and Climate Extremes.



Finalmente, en México, la investigación sobre la estimación de daños en cultivos por inundaciones, mostró ser un área de oportunidad para la generación de nuevo conocimiento, que toma especial relevancia ante un contexto de cambio climático y soberanía alimentaria. Sin embargo, se debe considerar que en este estudio solo se analizaron publicaciones en inglés y de la base de datos bibliográfica Scopus. De acuerdo con Santillán *et al.* (2021) la investigación agrícola en México tiende a publicarse en español y en revistas institucionales.

Otro aspecto relevante es que la investigación desarrollada en México, sobre la estimación de daños en cultivos por inundaciones, se concentró en instituciones ubicadas espacialmente en el centro del país (Figura 3), y fue principalmente para el cultivo de maíz y frijol. La concentración de la investigación agrícola por instituciones ubicadas en el centro de México, ha sido un aspecto abordado por Santillán *et al.* (2021) quienes encontraron que este desfase entre las instituciones de investigación y las áreas de producción limita la transferencia de tecnología, lo que impacta en el potencial productivo.



UAEM: Universidad Autónoma del Estado de México; C_GEO: Centro de Investigación en Geografía y Geomática Ing. Jorge L. Tamayo A.C.; UJAT: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; UADY: Universidad Autónoma de Yucatán; UAC: Universidad Autónoma de Campeche.

Figura 3. Distribución espacial de las instituciones académicas y de investigación en México, que publicaron trabajos sobre daños por inundaciones en el sector agrícola de 2000 a 2022



CONCLUSIÓN

La evolución espacio-temporal de la producción científica sobre daños por inundaciones en el sector agrícola mostró un crecimiento sostenido a partir de 2010, que se concentró principalmente en países del continente asiático. Los cultivos agrícolas de mayor análisis, fueron para el caso de los países asiáticos, el arroz (China y Bangladesh), caña de azúcar (India), y hortalizas (Japón), mientras que en los países europeos destacaron la vid (Francia e Italia) y el trigo (Alemania y España); y en América el maíz (USA y México) y frijol (México). Dentro de los modelos de simulación, los más recurrentes fueron HEC-RAS (Hydrological Engineering Center – River Analysis System), MIKE 21 Flow Model FM, y en los últimos años la percepción remota por medio de imágenes de satélite. Respecto al análisis de datos se documentaron dos enfoques el empírico (datos de daños recopilados después de eventos de inundación) y el sintético (datos recopilados a través de cuestionarios). Para el caso de México se documentó poca investigación sobre el tema, lo que representa un área de oportunidad. Sin embargo, se debe considerar que en este estudio solo se analizaron publicaciones en inglés y de la base de datos bibliográfica Scopus.

LITERATURA CITADA

- BALTAZAR AR, Mastachi LCA, Galindo AA, Hernández TM, Becerril PR. 2021. Metodología para la estimación de pérdidas económicas de cultivos de maíz siniestrados por inundaciones usando teledetección. *Revista de Geografía Norte Grande*. 79:207-227. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022021000200207>
- BHAKTA SB, Kawasaki A. 2020. Quantitative assessment of flood risk with evaluation of the effectiveness of dam operation for flood control: A case of the Bago River Basin of Myanmar. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 50:101707. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101707>
- DE-MOEL H, Aerts J. 2011. Effect of uncertainty in land use, damage models and inundation depth on flood damage estimates. *Natural Hazards*. 58:407-425. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9675-6>
- DEWAN TH. 2015. Societal impacts and vulnerability to floods in Bangladesh and Nepal. *Weather and Climate Extremes*. 7:36-42. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2014.11.001>
- DÍAZ CG. 2012. El cambio climático. *Ciencia y sociedad*. 37:227-240. <https://intranetrepository.intec.edu.do/server/api/core/bitstreams/3bacdd56-e4ef-4b1f-a2eb-d5cced4f44aa/content>
- DUTTA D, Herath S, Musiaka K. 2003. A mathematical model for flood loss estimation. *Journal of Hydrology*. 277:24-49. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00084-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00084-2)



ESRI. 2015. Environmental Systems Research Institute: ArcGIS (Versión 10.3) Software de procesamiento digital de imágenes satelitales. Redlands, CA, USA.

<http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop>

FAOSTAT. 2024. Base de datos estadísticos corporativos de la Organización para la Agricultura y la Alimentación. Producción agrícola.

<https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>

FÖRSTER S, Kuhlmann B, Lindenschmidt KE, Bronstert A. 2008. Assessing flood risk for a rural detention area. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 8:311-322.

<https://doi.org/10.5194/nhess-8-311-2008>

JONKMAN SN, Bockarjova M, Kok M, Bernardini P. 2008. Integrated hydrodynamic and economic modelling of flood damage in the Netherlands. *Ecological economics*. 66:77-90.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.12.022>

LESK C, Rowhani P, Ramankutty N. 2016. Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*. 529:84-87.

<https://doi.org/10.1038/nature16467>

LEIPOLD S. 2014. Creating forests with words—A review of forest-related discourse studies. *Forest Policy Economics*. 40:12-20.

<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2013.12.005>

MERZ B, Kreibich H, Schwarze R, Thielen A. 2010. Review article "Assessment of economic flood damage". *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 10:1697-1724.

<https://doi.org/10.5194/nhess-10-1697-2010>

MESSNER F, Meyer V. 2006. Flood damage, vulnerability and risk perception—Challenges for flood damage research. *NATO Science Series*. 67:149-167.

https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4598-1_13

MIRZA MM. 2011. Climate change, flooding in South Asia and implications. *Regional Environmental Change*. 11:95-107.

<https://doi.org/10.1007/s10113-010-0184-7>

MOKHTARI F, Soltani S, Mousavi SA. 2017. Assessment of Flood Damage on Humans, Infrastructure, and Agriculture in the Ghamsar Watershed Using HEC-FIA Software. *Natural Hazards Review*. 18:04017006.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000248](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000248)

MOLINARI D, Ballio F, Handmer J, Menoni S. 2014. On the modeling of significance for flood damage assessment. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 10:381-391.

<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2014.10.009>

MOLINARI D, Scorzini AR, Gallazzi A, Ballio F. 2019. AGRIDE-c, a conceptual model for the estimation of flood damage to crops: development and implementation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 19:2565-2582.

<https://doi.org/10.5194/nhess-19-2565-2019>



RAHMAN MS, Di L. 2020. A Systematic Review on Case Studies of Remote-Sensing-Based Flood Crop Loss Assessment. *Agriculture*. 10:131.

<https://doi.org/10.3390/agriculture10040131>

SANTILLÁN FA, Salinas MY, Valdez LJR, Pereira LS. 2021. Spatial-Temporal Evolution of Scientific Production about Genetically Modified Maize. *Agriculture*. 11:246.

<https://doi.org/10.3390/agriculture11030246>

SCAWTHORN C, Blais N, Seligson H, Tate E, Mifflin E, Thomas W, Murphy J, Jones C. 2006. HAZUS-MH Flood Loss Estimation Methodology. I: Overview and Flood Hazard Characterization. *Natural Hazards Review*. 2:60-71. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2006\)7:2\(60\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2006)7:2(60))

SCOPUS. 2023. Base de datos bibliográfica de resúmenes y citas de artículos de revistas científicas. <https://www.scopus.com>

SCORZINI AR, Di-Baco M, Manella G. 2021. Regional flood risk analysis for agricultural crops: Insights from the implementation of AGRIDE-c in central Italy. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 53:101999 <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101999>

SIAP. 2023. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera: cierre de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

SKAKAVAC Z, Njegomir V, Pejanovi L, Skakavac A. 2017. Risk Management of Agricultural Floods. *Economics of Agriculture*. 64:639-657.

<https://doi.org/10.5937/ekoPolj1702639S>

SWAMINATHAN MS, Rengalakshmi R. 2016. Impact of extreme weather events in Indian agriculture: Enhancing the coping capacity of farm families. *Mausam*. 67:1-4.

<https://doi.org/10.54302/mausam.v67i1.1135>

TAPIA SFO, Itzerott S, Foerster S, Kuhlmann B, Kreibich H. 2011. Estimation of flood losses to agricultural crops using remote sensing. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 36:253-265. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.03.005>

VAN-DE-SANDE CJ, De-Jong SM, De-Roo AP. 2003. A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 4:217-229. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(03\)00003-5](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(03)00003-5)

VEGA SBE, Domínguez MR, Posada VG. 2018. Evaluación estacional del riesgo por inundación en zonas agrícolas. *Tecnología y ciencias del agua*. 9:92-127.

<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-03-04>



WARD PJ, De-Moel H, Aerts JC. 2011. How are flood risk estimates affected by the choice of return-periods? *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 11:3181-3195.
<https://doi.org/10.5194/nhess-11-3181-2011>

WOS. 2021. Web of Science: Journal Citation Reports.
<https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/journal-citation-reports/>

[Errata, Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-agroforestal/errata>



Abanico Agroforestal. Enero-Diciembre 2025; 7:1-9. <http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/2025.2>
Artículo original. Recibido: 13/11/2024. Aceptado: 20/01/2025. Publicado: 08/02/2025. Clave: e2024-33
<https://www.youtube.com/watch?v=Xjlx65RdruE>

Aplicación de insumos orgánicos: su efecto en variables de calidad del fruto de jitomate

Application of organic inputs and their effect on quality variables of tomato fruit



Lilia Mexicano-Santoyo^{1ID}, Tarsicio Medina-Saavedra*^{1ID}, Gabriela Arroyo-Figueroa^{1ID}, Andrea Marín-Sánchez^{1ID}, Ernesto Montalvo-García^{1ID}, Tania Castro-Jácome^{2ID}

¹Universidad de Guanajuato. Departamento de Ingeniería Agroindustrial, División de Ciencias de la Salud e Ingenierías. Privada Arteaga s/n, Col. Centro, C.P. 38900, Salvatierra, Guanajuato, México. ²Grupo Educativo del Valle. Av. De la cultura 30, Cd. Del valle, C.P. 63157, Tepic, Nayarit, México. *autor de correspondencia: Tarsicio Medina-Saavedra. l.mexicano@ugto.mx, tarsicioms@hotmail.com, g.arroyo@ugto.mx, a.marinsanchez@ugto.mx, e.montalvogarcia@ugto.mx, pcastro@pvalle.edu.mx

Resumen

El jitomate es una hortaliza muy demandada a nivel mundial, México tiene participación con el 25.11% en el mercado internacional. Su producción puede realizarse utilizando abonos orgánicos que mejoran las características del suelo y aportan nutrientes a las plantas. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de abonos orgánicos sobre variables de calidad en el fruto de jitomate durante su etapa de madurez. La metodología consistió en preparar bocashi y el biol fue adquirido de una granja de cerdos. Los tratamientos aplicados fueron, BL: Biol; BCS: Bocashi; BLBCS: Biol + Bocashi, al momento de la cosecha se recolectaron 30 frutos al azar por cada tratamiento, se midió el color, el peso, diámetro polar y ecuatorial de cada uno. Los resultados muestran que los frutos más pequeños fueron obtenidos con el tratamiento de biol y en cuanto al color no se observa diferencia estadística entre los tratamientos. Finalmente se concluye que la aplicación de bocashi y la combinación de este con biofertilizante favorece a un mayor tamaño y peso del fruto. Por otra parte, los abonos orgánicos no influyen sobre el color del fruto. Sin embargo, el biofertilizante aplicado en altas concentraciones causa un efecto negativo en dichas variables.

Palabras clave: abonos orgánicos, color, estado de madurez.

Abstract

Tomatoes are a vegetable in high demand worldwide. Mexico has a 25.11% share of the international market. Tomatoes can be produced using organic fertilizers that improve soil characteristics and provide nutrients to plants. The objective of this research was to evaluate the effect of organic fertilizers on quality variables in tomato fruit during its maturity stage. The methodology consisted of preparing bocashi and the biol was acquired from a pig farm. The treatments applied were BL: Biol; BCS: bocashi; BLBCS: Biol + bocashi, at the time of harvest 30 fruits were collected at random for each treatment, the color, weight, polar and equatorial diameter of each one were measured. The results show that the smallest fruits were obtained with the biol treatment and in terms of color no statistical difference was observed between the treatments. Finally, it is concluded that the application of bocashi and the combination of this with biofertilizer favors a larger size and weight of the fruit. On the other hand, organic fertilizers do not influence the color of the fruit. However, biofertilizer applied in high concentrations causes a negative effect on these variables.

Keywords: organic fertilizers, color, maturity stage.



INTRODUCCIÓN

El jitomate es una hortaliza con alta demanda a nivel mundial. Con un valor de poco más de 2.433 millones de dólares, ocupa el cuarto lugar entre los diez cultivos más importantes en términos de valor comercial en el mundo. México es el principal proveedor a nivel mundial de jitomate con una participación en el mercado internacional de 25.11% del valor de las exportaciones mundiales (Montaño *et al.*, 2021). Es una de las hortalizas más consumidas en el mundo debido a que es rico en nutrientes, vitaminas y minerales (Zhang *et al.*, 2023). Suele consumirse cuando alcanzan una etapa de madurez rojo intenso. Por lo tanto, el color es la característica externa más importante para evaluar la madurez y la vida post cosecha del fruto (López & Gómez, 2004).

El color es una percepción humana de la luz reflejada por un objeto, una apreciación que depende de cómo nuestros ojos detectan esta luz y de cómo nuestro cerebro la procesa. Por esta razón, para cuantificar y estandarizar el color, se han desarrollado equipos y modelos cromáticos que describen matemáticamente la representación de los colores utilizando espectrofotómetros o colorímetros (Yam & Papadakis, 2004). El espacio de color CIE-L*a*b* describe todos los colores que puede percibir el ojo humano a partir de sus tres coordenadas: L*, a* y b*, son aceptadas internacionalmente para evaluar el color en los alimentos y otros productos industrializados (León *et al.*, 2006). En frutos y vegetales, el cambio de color es causado por la degradación de la clorofila y el descubrimiento o síntesis de pigmentos carotenoides en los cloroplastos y cromoplastos, y los pigmentos fenólicos: antocianinas, flavonoles y pro antocianinas (Boudet *et al.*, 2017). Este cambio se vincula con la evolución de la textura, aroma y sabor que esperan los consumidores de estos productos en el momento de consumo y se relaciona fuertemente con la resistencia a la penetración, atributo de calidad que denota frescura del producto por lo que es utilizado como un indicador de madurez de los frutos (Adame *et al.*, 2022). Durante la maduración de los frutos ocurren cambios fisiológicos, bioquímicos y estructurales que influyen en la producción de compuestos químicos que generan el sabor y aroma correspondientes. Las características sensoriales, principalmente de color, olor y sabor, juegan un papel central en la calidad de los frutos y dependen del gusto y aroma percibidos por cada consumidor (Benito-Bautista *et al.*, 2015). Por otra parte, Toor *et al.* (2006) comentan que las fuentes de fertilización durante la producción pueden tener un efecto significativo sobre las propiedades de los frutos. Los abonos orgánicos son ricos en materia orgánica y se ha informado que su aplicación influye positivamente sobre las características cualitativas y cuantitativas de frutos de jitomates producidos bajo condiciones de invernadero (Dinu *et al.*, 2017). En este sentido, el bocashi es un abono orgánico que fomentan el uso de residuos orgánicos locales (Peralta *et al.*, 2019). Ha sido utilizado por los agricultores japoneses desde hace muchos años como un mejorador del suelo que aumenta la diversidad microbiana, mejora las condiciones físicas y químicas, previene enfermedades



del suelo y lo suple de nutrientes para el desarrollo de los cultivos (Sarmiento *et al.*, 2019). El Biol es un abono líquido fermentado y su formulación puede variar según el criterio del productor (Restrepo, 2001). Por lo general se prepara mezclando agua con alguna fuente de nitrógeno como lo es el estiércol o leguminosas y una fuente de energía como lo es la melaza, dicha mezcla puede ser enriquecida con harina de roca y sales orgánicas (Restrepo, 2002). Diversos estudios han mostrado que la producción de materia seca en los cultivos aumenta, en la medida en que aumenta la dosis de fertilización orgánica, independiente del tipo de fertilizante orgánico utilizado (Peralta *et al.*, 2019). El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de abonos orgánicos sobre variables de calidad en el fruto de jitomate durante su etapa de madurez.

MATERIAL Y MÉTODOS

La parte experimental se realizó en el invernadero de la Universidad de Guanajuato, sede Mayorazgo con ubicación 20°12'45.5"N 100°52'31.1"W.

Preparación del bocashi. Para la elaboración del abono se utilizaron, salvado, ceniza, melaza, estiércol, y rastrojo molido. Los insumos fueron mezclados hasta obtener una mezcla homogénea. Posteriormente, se adicionó agua hasta alcanzar una humedad aproximadamente del 40 – 50%. Para verificar el porcentaje de humedad aproximado se realizó la prueba del puño. La mezcla fue removida cada 24h durante un periodo de 15 días para evitar el sobrecalentamiento e incorporar oxígeno.

Aplicación de tratamientos. Primeramente, se preparó el suelo y se humedeció para el posterior trasplante de la plántula. El cultivo que se utilizó fue jitomate variedad saladette, genotipo Galilea. Una vez humedecido el suelo, se realizó el trasplante. Los tratamientos aplicados fueron, BL: Biol; BCS: Bocashi; BLBCS: Biol + Bocashi y plantas testigo. El bocashi fue aplicado al suelo a razón de 10 kg por m² en el suelo y el biol fue disuelto en agua a razón de 50:50 v/v, se aplicó 1L en la base del tallo de la planta. Cada unidad experimental consistió en tres plantas por tratamiento y se realizaron tres repeticiones. Los tratamientos fueron aplicados una vez por semana.

Al momento de la cosecha se recolectaron 30 frutos al azar por cada uno de los tratamientos, se registró el peso, diámetro polar y diámetro ecuatorial de cada uno. Para pesar los frutos se empleó una balanza marca Rhino bapre-3, el diámetro polar y ecuatorial mediante un vernier digital.

Medición de color en los frutos. Para determinar el color en los frutos se utilizó colorímetro CHROMA METER CR-400 marca Minolta. Se midieron las coordenadas CIELab* (L*, a* y b*) de los frutos de cada tratamiento, para posteriormente calcular el índice de color con la siguiente ecuación:



$$IC = \frac{2000a^*}{L^* \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}}$$

Donde:

IC= índice de color

L* = Luminosidad

a* = Coordenada rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde)

b* = Coordenada amarillo azul (+b indica amarillo, -b indica azul)

Análisis estadístico. Para el análisis estadístico se realizó un ANOVA ($\alpha=0.05$) y una prueba de Tukey para la comparación de medias utilizando el software GraphPad Prism v.8.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presenta el diámetro polar (inciso a), diámetro ecuatorial (inciso b) y peso de los frutos (inciso c). En la Figura se observa que los frutos más pequeños fueron obtenidos con el tratamiento de biol ya que se obtuvieron los valores más bajos en las variables evaluadas con respecto a los tratamientos de bocashi, bocashi con biol y el control. Además, se puede observar que los tratamientos de biol y bocashi fueron estadísticamente diferentes ($p > 0.05$).

[González et al. \(2021\)](#) no observaron diferencias estadísticamente significativas en el peso y el diámetro del fruto de jitomate al evaluar cuatro dosis de biofertilizante líquido supermagro (100, 150, 200 y 250 mL) enriquecido con sales minerales. Sin embargo, estos tratamientos mostraron un mejor efecto en las variables con respecto al testigo.

Por otro lado, [Vásquez \(2021\)](#) no encontró diferencias estadísticas significativas en el diámetro polar, diámetro ecuatorial de los frutos al aplicar 3 diferentes dosis de biol en jitomate sheila victory f1. Estos resultados concuerdan con los resultados obtenidos en el presente trabajo, ya que no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos al evaluar estas variables. Por otra parte, el autor reporta un mayor peso al aplicar biol a una concentración del 30% de manera localizada directamente al suelo, lo que sugiere que la concentración de biol aplicada en el presente trabajo fue elevada (50%) y por lo tanto se obtuvieron frutos de menor tamaño ya que además de esto [Vásquez-Gálvez et al. \(2008\)](#) mencionan que el exceso de fertilizantes permite un mayor desarrollo vegetativo en las plantas, pero un efecto negativo de los rendimientos y la calidad de los frutos lo cual concuerda con los resultados obtenidos por [Muñiz \(2023\)](#) quien menciona que aplicar biol en dosis elevadas causa una toxicidad en las plantas de pepino causando rendimientos menores.

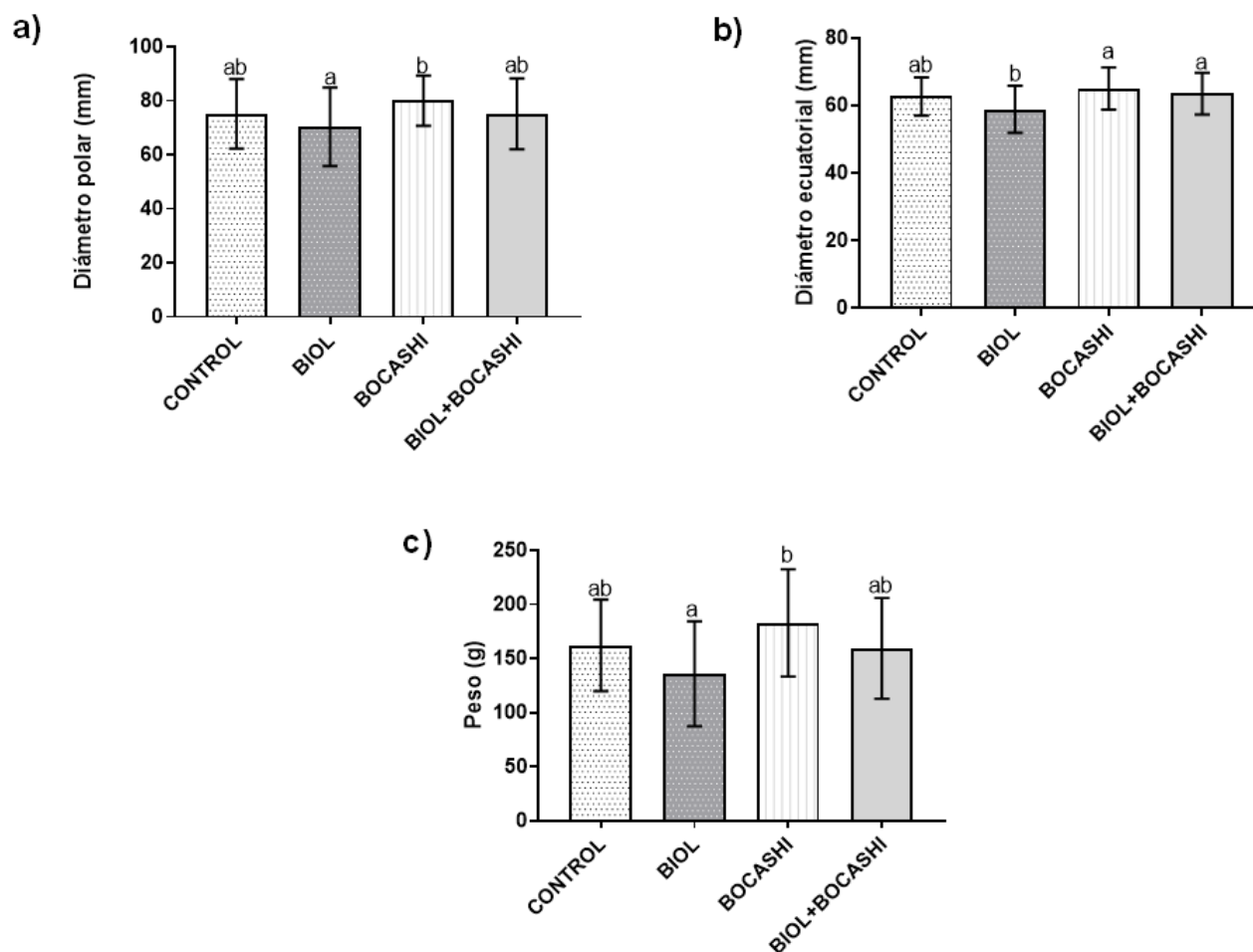


Figura 1. A) Diámetro polar, B) Diámetro ecuatorial y C) Peso de frutos de jitomate cosechados de plantas con tratamientos de Biol, Bocasi y biol más bocashi

Sarmiento *et al.* (2019) mencionan que la adición de bocashi y microorganismos eficaces mejoran la fertilidad del suelo y aumenta los rendimientos de los cultivos lo cual se ve reflejado en un mayor peso de los frutos de fresa, además López-Morales *et al.* (2022) reportan que los tratamientos con abonos orgánicos fueron superiores en cuanto al peso de fruto, siendo el tratamiento AEBE= arena + estiércol bovino + Ecomic (275.9 g) ($p \leq 0.05$) el mayor. En el presente trabajo, los frutos con mayor peso fueron aquellos provenientes de plantas que recibieron la aplicación únicamente de Bocashi.

En cuanto a los resultados de color, la Tabla 1 presenta las coordenadas de color L^* , a^* y b^* , así como la relación a^*/b^* y IC en los frutos, se observa que no hay diferencias estadísticas entre tratamientos en ninguna de las variables evaluadas.



Tabla 1. coordenadas de color L*, a* y b*, así como la relación a*/b* y IC en los frutos

Tratamiento	L*	a*	b*	a*/b*	IC
Bocashi	41.90 ± 3.15 ^a	22.56 ± 3.96 ^a	29.83 ± 2.68 ^a	0.77 ± 0.17 ^a	28.98 ± 6.08 ^a
Biol	42.78 ± 4.23 ^a	23.05 ± 6.13 ^a	30.12 ± 3.10 ^a	0.77 ± 0.21 ^a	28.43 ± 7.60 ^a
Biol + Bocashi	43.20 ± 3.24 ^a	22.05 ± 4.66 ^a	30.72 ± 3.05 ^a	0.73 ± 0.19 ^a	27.15 ± 6.67 ^a
Control	41.69 ± 2.46 ^a	23.73 ± 2.04 ^a	30.29 ± 2.71 ^a	0.79 ± 0.16 ^a	29.61 ± 5.42 ^a

Los valores corresponden a la media ± la desviación estándar.

Los valores con las mismas letras dentro de la misma columna son estadísticamente iguales.

Los cambios de coloración durante la maduración de los frutos de jitomate resultan en cambios de los valores L*, a* y b* (Padrón *et al.*, 2012). En el estándar estadounidense, para la clasificación de jitomates frescos se utilizan distintos conceptos para indicar el estado de maduración, tales como: ‘green’ completamente verde; ‘breakers’ con ruptura definitiva en el color de verde a amarillo oscuro, rosado o rojo en no más del 10% de la superficie. Para la descripción anterior, existe una carta de color denominada “Tomato color standards U.S.D.A. Visual Aid TML-1”. López & Gómez *et al.* (2004) mencionan que los cambios de color durante la maduración del jitomate son el resultado de cambios en los valores de L*, a* y b*, principalmente en la coordenada a*, que está relacionada con la degradación de la clorofila y la síntesis de licopeno. En el presente trabajo no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en la coordenada a*. Por otro lado, Carvajal-Mena *et al.* (2023) evaluaron el efecto de la fertilización a base de cúrcuma sobre la producción de jitomate en invernadero y mencionan que, para un jitomate maduro, el valor L* suele estar en el rango 40.0–42.7, a* valor en el rango de 17.9 a 29.6, y valor de b* en el rango de 27.0 a 29.4. Por lo tanto, para nuestros resultados L* y a* coincidieron con los rangos normales, pero el parámetro b* estaba por encima del rango normal. De acuerdo con los resultados obtenidos se puede inferir que la adición de biol, bocashi o la combinación de estos no influye en el color del fruto.

CONCLUSIÓN

La aplicación de bocashi y la combinación de este con biofertilizante favorece a un mayor tamaño y peso del fruto del jitomate. Por otra parte, los abonos orgánicos no influyen sobre el color del fruto. Sin embargo, el biofertilizante aplicado en altas concentraciones causa un efecto negativo en dichas variables.



LITERATURA CITADA

Adame García J, Murillo Cuevas FD, Cabrera Mireles H, Villegas Narváez J, Rivera Meza AE, Vásquez Hernández A. 2022. Efecto de bioestimulantes microbianos en el tamaño y peso de frutos de chile morrón y jitomate en condiciones protegidas de macrotúnel. *Biotecnia*. 25(1):81-87. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i1.1772>

Benito-Bautista P, Arellanes-Juárez N, Pérez-Flores ME. 2015. Color y estado de madurez del fruto de tomate de cáscara. *Agronomía mesoamericana: organo divulgativo del PCCMCA, Programa Cooperativo Centroamericano de Mejoramiento de Cultivos y Animales*. 27(1):115. <https://doi.org/10.15517/am.v27i1.21891>

Boudet Antomarchi A, Boicet Fabré T, Durán Ricardo S, Meriño Hernández Y. 2017. Efecto sobre el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de diferentes dosis de abono orgánico bocashi en condiciones agroecológicas. *Centro agrícola*. 44(4):37-42. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852017000400006

Carvajal-Mena N, Medina-Correa R, Quintana R, Shene C, Leiva-Vega J. 2023. Effect of a turmeric-based fertilizer on tomato production at green-house level. *Agro sur*. 50(3):1-13. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2022.v50n3-01>

Dinu M, Soare R, Dumitru M. 2017. The effect of foliar fertilization with organic products on some nutritional value during post-harvest storage of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 67(3):218-226. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222017000400218&lng=es&tlng=en. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222017000400218&lng=es&tlng=en

González del Cid K, Vásquez-de Ponce P, Sánchez-Gómez K, Tejada-Asencio J, Aguirre-Castro C. 2021. Evaluación de cuatro dosis de biofertilizante líquido enriquecido con sales minerales y su efecto en el rendimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*, CENTA Cuscatlán), utilizando la técnica de fertirriego. *Revista Agrociencia*. 4(18):78-88. <https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia/index.php/agrociencia/article/view/89>

León K, Mery D, Pedreschi F, León J. 2006. Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. *Food Research International*. 39(10):1084-1091. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.03.006>



López Camelo AF, Gómez PA. 2004. Comparación de índices de color para la maduración del tomate. *Horticultura Brasileira*. 22(3):534-537.

<https://doi.org/10.1590/S0102-05362004000300006>

López-Morales ML, Leos-Escobedo L, Alfaro-Hernández L, Morales-Morales AE. 2022. Impacto de abonos orgánicos asociados con micorrizas sobre rendimiento y calidad nutraceútica del pepino. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 13(5):785-798.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v13i5.2868>

Montaño Méndez IE, Valenzuela Patrón IN, Villavicencio López KV. 2021. Competitividad del tomate rojo de México en el mercado internacional: análisis 2003-2017. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 12(7):1185-1197.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2531>

Muñiz Veliz CA. 2023. *Beneficios del biol en el cultivo de pepino (Cucumis sativus)*. Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2023.

<http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/14100>

Padrón Pereira CA, Padrón León GM, Montes Hernández AI, Oropeza González RA. 2012. Determinación del color en epicarpio de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con sistema de visión computarizada durante la maduración. *Agronomía Costarricense*. 36(1):97-111.

https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242012000100008

Peralta Antonio N, Bernardo de Freitas G, Watthier M, Silva Santos R. 2019. Compost, bokashi y microorganismos eficientes: sus beneficios en cultivos sucesivos de brócolis. *Idesia (Arica)*. 37(2):59-66.

<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000200059>

Restrepo J. 2001. Elaboración de abonos orgánicos fermentados experiencias de agricultores en Centroamérica y Brasil. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Costa Rica. Pp. 189. ISBN: 92-9039-506-0.

<http://repositorio.iica.int/handle/11324/6568>

Restrepo J. 2002. Biofertilizantes preparados y fermentados a base de mierda de vaca: preguntas directas, respuestas prácticas. Cali, CO, Fundación Juquira Candiru. Pp. 105.

<https://agroecologia.org/wp-content/uploads/2016/12/ABC-de-la-Agricultura-organica-Abonos-organicos.pdf>



Sarmiento Sarmiento GJ, Amézquita Álvarez MA, Mena Chacón LM. 2019. Uso de bocashi y microorganismos eficaces como alternativa ecológica en el cultivo de fresa en zonas áridas. *Scientia Agropecuaria*. 10(1):55-61.

<https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.01.06>

Toor RK, Savage GP, Heeb A. 2006. Influence of different types of fertilisers on the major antioxidant components of tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*. An Official Publication of the United Nations University, International Network of Food Data Systems. 19(1):20-27. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.03.003>

Vásquez L. 2021. Efecto de tres dosis de biol en el rendimiento del cultivo de tomate sheila victory F1 (*Solanum lycopersicum L.*), bajo condiciones de invernadero en Baños del Inca - Cajamarca. Universidad Nacional de Cajamarca.

<http://hdl.handle.net/20.500.14074/4381>

Vázquez-Gálvez G, Cárdenas-Navarro R, Lobit P. 2008. Efecto del nitrógeno sobre el crecimiento y rendimiento de fresa regada por goteo y gravedad. *Agric. Téc. Méx.* 34:235-241.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172008000200010&lng=es&tlng=es

Yam KL, Papadakis SE. 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*. 61(1):137-142.

[https://doi.org/10.1016/s0260-8774\(03\)00195-x](https://doi.org/10.1016/s0260-8774(03)00195-x)

Zhang J, Liu S, Zhu X, Chang Y, Wang C, Ma N, Wang J, Zhang X, Lyu J, Xie JA. 2023. Comprehensive evaluation of tomato fruit quality and identification of volatile compounds.

Plants. 12, e2947. <https://doi.org/10.3390/plants12162947>

[Errata, Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-agroforestal/errata>



Abanico Agroforestal. Enero-Diciembre 2025; 7:1-15. <http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/2025.3>
Artículo original. Recibido: 19/12/2024. Aceptado: 23/03/2025. Publicado: 07/04/2025. Clave: e2024-31
<https://www.youtube.com/watch?v=g784WuGDTis>

Germinación *in vitro* de *Ibervillea sonorae* (S. Watson) Greene

In vitro germination of *Ibervillea sonorae* (S. Watson) Greene



Karla Rodríguez-Briseño*^{1ID}, Diana Mc-Caughey-Espinoza**^{1ID}, Ángela Hayano-Kanashiro^{1ID}, Daniel Morales-Romero^{2ID}, Carmen Ortega-Rosas^{2ID}, Martín Cruz-Campas^{2ID}

¹Universidad de Sonora, Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Avenida Luis Donaldo Colosio s/n Edificio 7G, Centro, 83000 Hermosillo, Sonora, México. ²Universidad Estatal de Sonora, Maestría en Ciencias Ambientales, Av. Ley Federal del Trabajo, 83100, Hermosillo, Sonora, México. *Autor principal: Rodríguez-Briseño Karla. **Autor de correspondencia: Mc Caughey-Espinoza Diana. Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad Sonora, Avenida Luis Donaldo Colosio s/n Edificio 7G, Centro, 83000 Hermosillo, Sonora, México. E-mail: karlarodriguez269@gmail.com, diana.mccaughey@unison.mx, angela.hayano@unison.mx, daniel.morales@ues.mx, carmen.ortega@ues.mx, martin.cruz@ues.mx

RESUMEN

El wereque (*Ibervillea sonorae*) es una planta tipo enredadera utilizada en la medicina tradicional por sus características antioxidantes, antiproliferativas, antimicrobianas e hipoglucemiantes; el objetivo de la investigación fue determinar la capacidad de germinación *in vitro* de *I. sonorae*. El diseño experimental se basó en tratamientos pregerminativos (con y sin escarificación mecánica con dosis de 1.0, 2.0, 3.0 y 4.0 mgL⁻¹ de AG³ en medio de cultivo WPM y dos muestras control), los datos fueron analizados con ANDEVA y comparación de medias con Tukey-Kramer (P<0.05). Los resultados mostraron una germinación de 56.67 a 61.67%; obteniendo un 97.29% de plántulas normales con una altura promedio de 50.55 mm y longitud de 53.78 mm de raíz a través de escarificación mecánica, imbibición y adición de AG³; con una sobrevivencia del 75% a los 20 días después del trasplante. El 2.71% pertenece a las plántulas anormales del total de semillas germinadas, y el 38.33% son semillas no germinadas. Por lo tanto, las semillas de *I. sonorae* requieren de escarificación mecánica e imbibición, que permitan la germinación. La tasa de germinación fue por debajo del 65% indicando que se deben utilizar tratamientos pregerminativos para su propagación e incremento de dicha especie en su hábitat silvestre.

Palabras clave: ácido giberélico, escarificación, imbibición, propagación, vegetación, wereque.

ABSTRACT

The wereque (*Ibervillea sonorae*) is a climbing plant used in traditional medicine for its antioxidant, antiproliferative, antimicrobial and hypoglycemic properties; the objective of the research was to determine the in vitro germination capacity of *I. sonorae*. The experimental design was based on pregermination treatments (with and without mechanical scarification with doses of 1.0, 2.0, 3.0 and 4.0 mgL⁻¹ of AG³ in WPM culture medium and two control samples), the data were analyzed with ANOVA and comparison of means with Tukey-Kramer (P<0.05). The results showed a germination of 56.67 to 61.67%; obtaining 97.29% of normal seedlings with an average height of 50.55 mm and root length of 53.78 mm through mechanical scarification, imbibition and addition of AG³; with a survival rate of 75% at 20 days after



transplantation. 2.71% of the total germinated seeds belong to abnormal seedlings, and 38.33% are non-germinated seeds. Therefore, *I. sonorae* seeds require mechanical scarification and imbibition to allow germination. The germination rate was below 65% indicating that pre-germination treatments should be used for propagation and increase of this species in its wild habitat.

Keywords: gibberellic acid, scarification, imbibition, propagation, vegetation, wereque.

INTRODUCCIÓN

La germinación es un proceso fisiológico dentro del cual emergen y se desarrollan a partir de un embrión las estructuras principales para la formación de una planta normal. A través de esta, se permite mayor variabilidad genética y la contribución al mantenimiento de las poblaciones vegetales (Hernández-Ramírez *et al.*, 2023). La germinación es determinante en el ciclo de vida de las plantas, siendo influenciado por factores ambientales (humedad y temperatura) que permiten la acción de diferentes enzimas, y que, a su vez, desencadenan la producción de hormonas, que serán responsables del desarrollo de las células (Nabors, 2006). La emergencia de la plántula dependerá de los factores fisiológicos y bioquímicos dentro de la semilla, de la reacción de estos factores a las condiciones ambientales, y del uso de las reservas durante el proceso germinativo (Morales-Santos *et al.*, 2017).

Después de la germinación, las estructuras esenciales de la plántula indican si el desarrollo será satisfactorio y productivo bajo condiciones favorables. Algunos factores que afectan la germinación son divididos en intrínsecos (características propias de la semilla, como lo es su madurez morfológica y fisiológica, deshidratación de tejidos y el reajuste del equilibrio hormonal o la sensibilidad de los tejidos hacia algunas sustancias activas) y extrínsecos (dependen del ambiente como la humedad, intercambio gaseoso y temperatura) (Villanueva-Coronado, 2008).

Dentro del Desierto Sonorense se encuentra el wereque (*Ibervillea sonorae*), esta es una planta tipo enredadera y dioica perteneciente a la familia Cucurbitaceae, siendo reconocida por su raíz tuberosa de gran tamaño que sobresale del suelo. Se distribuye desde Texas, Nuevo México y Arizona, hasta Sonora, Sinaloa y Baja California Sur; es utilizada dentro de la medicina tradicional mexicana por sus efectos hipoglucemiantes y componentes fitoquímicos contenidos en la raíz tuberosa para el control de la *diabetes mellitus* II, entre otros padecimientos (López-Márquez, 2017).

Se han observado que las poblaciones silvestres de *I. sonorae* han disminuido en los últimos años en el lado de México, posiblemente por la extracción total de la planta, los efectos del cambio climático y las actividades antropogénicas. Todo esto afecta en los procesos de propagación sexual de la especie, la acción de los polinizadores, propician el aumento de plagas y enfermedades, y a su vez, disminuyen las áreas naturales de distribución. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue determinar la capacidad de germinación *in vitro* de *I. sonorae* para la obtención de plántulas, con la finalidad de describir la metodología biotecnológica que ayude en futuros trabajos a la conservación de la especie.



MATERIAL Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos del Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora (DICTUS).

Especie en estudio

Para llevar a cabo esta investigación se emplearon semillas de *I. sonorae* (N= 240), especie que es utilizada en la medicina tradicional por sus efectos contra diversos padecimientos como la *diabetes mellitus* II, reumatismo, afecciones cardiacas, padecimientos en la piel, entre otros (López-Márquez, 2017). La identificación de la especie se llevó a cabo en el herbario de la Universidad de Sonora, con número de catálogo 31331.

Sitio de colecta

La colecta de semilla se llevó a cabo en el Rancho “Las Cruces” ubicado en Hermosillo, Sonora, localizado a los 29°02' 38.78” Norte y los 110°45' 50.91” Oeste, carretera a Sahuaripa, Sonora, México (Km 16), con 268 msnm; según la clasificación climática de Köppen, se presenta un clima con clave BWh, es decir, desértico cálido-árido (Ayala-Moreno, 2016); el sitio presenta la precipitación anual de 330 mm y temperatura promedio de 24 °C, con vegetación predominante de matorral arbosufrutescente, (SAGARPA, 2010). El wereque conforma comunidades vegetales con las especies a su alrededor, como es el caso de *Olneya tesota*, *Stenocereus thurberi*, *Parkinsonia sp.*, *Neltuma sp.*, entre otras (Rodríguez-Briseño & Mc Caughey-Espinoza, 2024).

El suelo presente en el sitio cuenta con calcisol, leptosol y regasol pertenecientes al cuaternario (McCaughey-Espinoza, 2022). Estos tipos de suelos son dominantes en el estado, con el siguiente porcentaje: 27.07% regasol, 24.04% leptosol y 12.95 calcisol (SIVICOFF, 2020).

Colecta de semillas y almacenamiento

Se colectaron frutos maduros de *I. sonorae*, aun adheridos a las plantas, que no presentarán daños por insectos o aves; los frutos se colocaron en bolsas de papel traza previamente marcados y se trasladaron al laboratorio para realizar la extracción y limpieza de semillas (considerando únicamente semillas maduras) sin presencia de daños fisiológicos o fitopatógenos (Figura 1; Mc-Caughey-Espinoza *et al.*, 2020). Para el resguardo y almacenamiento de las semillas, se colocaron en bolsa de plástico tipo Ziploc® (27.3 cm de largo y 26.8 cm de ancho, con cierre deslizante) y se almacenaron a 4 °C, para disminuir el desarrollo de insectos de campo que pudieran infligir un daño (Mc-Caughey-Espinoza *et al.*, 2018).

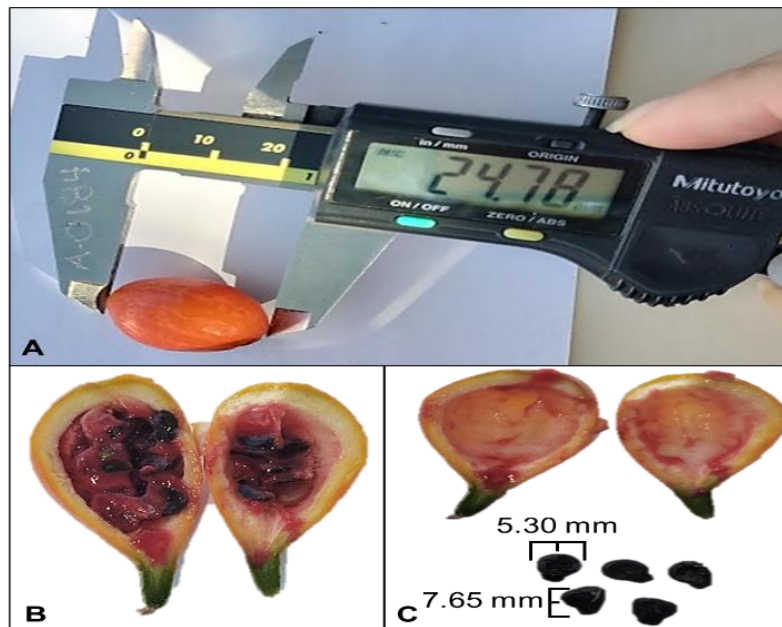


Figura 1. Fruto y semillas de *I. sonorae*. A. Largo del fruto; B. Corte longitudinal del fruto; C. Extracción y tamaño de semillas.

Tratamientos pregerminativos y germinación *in vitro*

Las semillas se sometieron a diferentes tratamientos pregerminativos que se ordenan y describen en la Tabla 1. Uno de ellos fue la escarificación mecánica, la cual se realizó al frotar la semilla con una lija número 120 por menos de 5 segundos, con el fin de debilitar la superficie de la testa.

La mitad de los tratamientos fueron sin escarificación mecánica y la otra mitad con escarificación. Después la mitad de los tratamientos con dos horas de imbibición se les adicionó 0, 1.0, 2.0, 3.0 y 4.0 mgL⁻¹ de AG³ al medio de cultivo WPM (Woody Plant Medium), y sin escarificación mecánica y con adición de 0, 1.0, 2.0, 3.0 y 4.0 mgL⁻¹ de AG³ al medio de cultivo WPM. Los tratamientos controles fueron sin proceso de escarificación ni adición de fitohormona.

Las semillas se colocaron en frascos tipo Gerber con 25 mL de medio de cultivo WPM (3 semillas por frasco, con 4 repeticiones cada tratamiento) (Trigiano & Gray, 2011), añadiendo ácido giberélico (AG³ al 90%) a diferentes a concentraciones de 0, 1.0, 2.0, 3.0 y 4.0 mgL⁻¹. La siembra de las semillas se llevó a cabo en una cámara de flujo laminar (marca EdgeGard modelo EG-6252) previamente esterilizada con alcohol etílico al 96% con la finalidad de minimizar cualquier factor de contaminación. El material vegetativo fue conservado en un cuarto de crecimiento en condiciones controladas: a una temperatura de 25 ± 2°C, con fotoperiodos de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad, y a una intensidad lumínica de 30 μmol.m⁻². s⁻¹.



Tabla 1. Tratamientos pregerminativos

Tratamiento	# Tratamiento
Con escarificación mecánica	T1
Con escarificación mecánica /2 h Embebidas /0.0 de AG ³	T2
Con escarificación mecánica /2 h Embebidas /1.0 de AG ³	T3
Con escarificación mecánica /2 h Embebidas /2.0 de AG ³	T4
Con escarificación mecánica /2 h Embebidas /3.00 de AG ³	T5
Con escarificación mecánica /2 h Embebidas /4.00 de AG ³	T6
Con escarificación mecánica /Sin estar embebidas /1.00 de AG ³	T7
Con escarificación mecánica /Sin estar embebidas /2.00 de AG ³	T8
Con escarificación mecánica /Sin estar embebidas /3.00 de AG ³	T9
Con escarificación mecánica /Sin estar embebidas /4.00 de AG ³	T10
Sin escarificación mecánica	T11
Sin escarificación mecánica /2 h Embebidas /0.0 de AG ³	T12
Sin escarificación mecánica /2 h Embebidas /1.0 de AG ³	T13
Sin escarificación mecánica /2 h Embebidas /2.0 de AG ³	T14
Sin escarificación mecánica /2 h Embebidas /3.0 de AG ³	T15
Sin escarificación mecánica /2 h Embebidas /4.0 de AG ³	T16
Sin escarificación mecánica /Sin estar embebidas /1.00 de AG ³	T17
Sin escarificación mecánica /Sin estar embebidas /2.00 de AG ³	T18
Sin escarificación mecánica /Sin estar embebidas /3.00 de AG ³	T19
Sin escarificación mecánica /Sin estar embebidas /4.00 de AG ³	T20

Semillas germinadas (%G) y no germinadas (%SNG)

La evaluación se determinó como lo especifica la Asociación Internacional de Ensayos de Semillas (ISTA, 2016), con base a la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de germinación (\%G)} = \frac{\text{Número de semillas germinadas}}{\text{Número total de semillas}} (100)$$

$$\text{Porcentaje de semillas no germinadas (\%SNG)} = \frac{\text{Número de semillas no germinadas}}{\text{Número total de semillas}} (100)$$

Plántulas normales (%PN) y anormales (%PA)

Posterior a la germinación, se determinó si las plántulas presentaban la parte aérea (hojas y tallo) y raíz, y se midieron con apoyo de un vernier (marca Mitutoyo Absolute Modelo CD-6CSX N° de Serie 06401649 de 6") el alto de la plántula y el largo de la raíz (finalizó a los 21 días la evaluación), además del uso de las siguientes fórmulas para determinar los porcentajes:



$$\text{Porcentaje de plantulas normales (\%PN)} = \frac{\text{Número de plantulas normales}}{\text{Número total de semillas germinadas}} (100)$$

$$\text{Porcentaje de plantulas anormales (\%PA)} = \frac{\text{Número de plantulas anormales}}{\text{Número total de semillas germinadas}} (100)$$

Trasplante después de la germinación

En la cámara de flujo laminar se llevó a cabo el trasplante de las plántulas obtenidas utilizando vasos de plástico transparente #10 y como sustrato se utilizó peat moss (sustrato que permite la retención de humedad y ayuda en el crecimiento y desarrollo de las plántulas), una vez ya trasplantadas se pasaron al cuarto de crecimiento en donde se realizaron monitoreos de sobrevivencia dentro del cuarto de crecimiento a condiciones controladas (fotoperiodo de 16 horas de luz; presentando una intensidad luminosa de 30 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y 8 horas de oscuridad, con temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$).

Análisis estadístico

Se analizaron los datos obtenidos con un diseño completamente aleatorizado, con un arreglo factorial de 18 tratamientos, 3 repeticiones y dos controles. Sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA) y se realizó una comparación de medias con Tukey-Kramer ($P < 0.05$); utilizando el programa estadístico JMP versión 17.0 ([JMP-Statistical, 2022](#)).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La germinación de *I. sonorae* inició a los 10 días después de la siembra y finalizó a los 21 días en el medio de cultivo WPM. De acuerdo con los resultados obtenidos, los tratamientos pregerminativos presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$), en las variables de porcentaje de germinación y porcentaje de plántulas normales (Tabla 2). Las semillas con escarificación mecánica más dos horas de remojo y sin hormonas presentaron mayor porcentaje de germinación (62.33%), e incremento de la humedad absorbida durante el proceso de germinación en el medio de cultivo WPM, mostrando diferencias significativas ($P < 0.05$) con el resto de los tratamientos. Los tratamientos T1 a T6 (excepto T2), al igual que, T9 y T10 son estadísticamente similares, mostrando una germinación de 57.25 a 61.67%; el tratamiento T7 (56.67%) y T8 (57.25%) son estadísticamente diferentes. Se mostró que los T12 a T16 son similares con una tasa de germinación de 10.67 a 11.00%. Por último, los tratamientos con bajo porcentaje de germinación son los T11 y T17 a T20 donde se obtuvo 0.33 a 1.67%, siendo semillas sin escarificación mecánica y sin estar embebidas, lo que posiblemente no permitió el inicio de la imbibición al no tener una captación directa de agua. De acuerdo con Pérez-Mendoza *et al.* (2016) a través de la imbibición, un mayor número de semillas alcanzan



de forma rápida el mismo nivel de humedad y la activación del metabolismo relacionado con la pre-germinación. Por lo cual, con la imbibición se mejora la calidad fisiológica y uniformiza el porcentaje de germinación.

Tabla 2. Germinación *in vitro* de *Ibervillea sonora*

# T	%G	%PN	%PA	%SNG
T1	60.67 ± 1.53b	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00a	39.33 ± 1.53d
T2	62.33 ± 1.15a	20.33 ± 35.22b	0.00 ± 0.00a	36.33 ± 2.52e
T3	61.67 ± 0.58b	20.33 ± 35.22b	0.33 ± 0.58a	38.00 ± 1.00e
T4	61.33 ± 0.58b	20.00 ± 34.64b	0.33 ± 0.58a	39.00 ± 0.00d
T5	61.00 ± 1.00b	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00a	39.00 ± 1.00d
T6	60.33 ± 1.53b	60.00 ± 2.00a	0.33 ± 0.58a	39.67 ± 1.53d
T7	56.67 ± 0.58d	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00a	43.33 ± 0.58c
T8	57.25 ± 1.26c	14.00 ± 28.00b	0.25 ± 0.50a	42.75 ± 1.26c
T9	58.00 ± 1.41b	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00a	42.00 ± 1.41d
T10	57.67 ± 0.58b	19.00 ± 32.91b	0.33 ± 0.58a	42.33 ± 0.58d
T11	0.33 ± 0.58f	0.33 ± 0.58c	0.00 ± 0.00a	99.67 ± 0.58 ^a
T12	10.67 ± 2.08e	10.67 ± 2.08b	0.00 ± 0.00a	89.33 ± 2.08b
T13	10.67 ± 1.53e	10.33 ± 1.15b	0.33 ± 0.58a	89.33 ± 1.53b
T14	11.00 ± 3.00e	11.00 ± 3.00b	0.00 ± 0.00a	89.00 ± 3.00b
T15	10.67 ± 1.15e	10.33 ± 1.53b	0.33 ± 0.58a	89.33 ± 1.15b
T16	11.00 ± 2.00e	11.00 ± 2.00b	0.00 ± 0.00a	89.00 ± 2.00b
T17	1.67 ± 2.08f	1.67 ± 2.08c	0.00 ± 0.00a	98.33 ± 2.08a
T18	1.00 ± 0.82f	1.00 ± 0.82c	0.00 ± 0.00a	99.00 ± 0.82a
T19	1.50 ± 2.12f	1.50 ± 2.12b	0.00 ± 0.00a	98.50 ± 2.12a
T20	1.33 ± 1.15f	1.33 ± 1.15c	0.00 ± 0.00a	98.67 ± 1.15a

*Literales distintas indican diferencias significativas entre tratamientos (P<0.05). %G: Porcentaje de germinación, %PN: Porcentaje de plántulas normales, %PA: Porcentaje de plántulas anormales, %SNG: Porcentaje de semillas no germinadas

Los tratamientos que presentaron un porcentaje de germinación alto (56.67 a 61.67%), comparado con el resto (0.33 a 11.00%), se caracterizan por presentar un proceso de escarificación mecánica (creando un área permeable en la semilla) previo a un proceso de imbibición por dos horas en agua desionizada estéril (permite la activación del mecanismo enzimático) y la adición de una sustancia fitohormonal como lo es el ácido giberélico a distinta concentración. Estos resultados concuerdan con lo mencionado con [Portuguez-García et al. \(2020\)](#) con relación al uso de la escarificación, imbibición y aplicación de sustancias metabólicas para iniciar la ruptura de la latencia, y así mismo obtener un índice de germinación homogéneo. Por otro lado, también se destaca que el déficit hídrico, exceso de agua y la velocidad de hidratación, así como, la temperatura afectará la imbibición y la activación metabólica ([Pita-Villamil & Pérez-García, 1998](#)). Al



comparar los resultados obtenidos con respecto a [Mora-Gutiérrez \(1988\)](#), quien evaluó el tiempo de la germinación de *Cucurbita ficifolia*, presentó un rango de 10 a 12 días, y por ende la obtención de plántulas, dichos resultados difieren con los obtenidos en esta investigación con *I. sonorae* que presentó un rango de 10 a 21 días de germinación y crecimiento de plántulas. El rápido proceso de germinación en *C. ficifolia* puede atribuirse a que presenta testa permeable que permitió la rápida imbibición, asociado a la presencia de cotiledones grandes que cuentan con gran cantidad de materiales de reserva, lo cual permite el desarrollo acelerado del sistema radicular y de la parte aérea. Adicionalmente, la diferencia de hábitat en la que se presenta, *C. ficifolia* como planta cultivada (domesticada), es que puede contar con los nutrientes, disponibilidad de humedad y rangos de temperatura idóneos para su crecimiento; al igual que las poblaciones en vida silvestre de esta especie, ya que se localiza en climas templados y cadenas montañosas de México, permitiendo un desarrollo adecuado para la especie debido a las condiciones climáticas y edafológicas de sus sitios de distribución. En comparación con la especie de estudio, *I. sonorae*, que se localiza en ambientes xéricos del norte de México y sur de Estados Unidos, los cuales se caracterizan por rangos de altas temperaturas, largas temporadas de sequía, poca materia orgánica en el suelo y bajo contenido de macro y micronutrientes, lo cual afecta el proceso de desarrollo y propagación de la especie ([López-Márquez, 2017](#)).

Con base a esta investigación, los resultados están asociados a que es una semilla impermeable y que posiblemente no presente una maduración completa, es decir, el embrión no se haya desarrollado y, por lo tanto, no germinara a pesar de tener las condiciones ambientales adecuadas y los materiales de reserva para su desarrollo y crecimiento. Por ende, las condiciones ambientales también pueden afectar a los frutos y las semillas, esto al incrementar la temperatura interna de los frutos elevando los porcentajes de humedad, lo que provoca la pudrición y proliferación de fitopatógenos (hongos) (Figura 2). Según [Rosa \(2001\)](#) enfermedades causadas por *Colleotrichum orbiculare* y *Fusarium sp.* al ingresar en los frutos, limitan la captación de nutrientes en las semillas y afectan la germinación y desarrollo del embrión; al igual que, pueden colonizar por completo al fruto y provocar podredumbre hasta causar la muerte del embrión. Además de que, el porcentaje de germinación es similar con los resultados obtenidos con la prueba de viabilidad de *I. sonorae* (63.33%) realizadas por [Rodríguez-Briseño et al. \(2024\)](#); los valores en la calidad de la semilla y su porcentaje de germinación menor al 65% puede atribuirse al bajo porcentaje de un proceso adecuado de polinización, interfiriendo con el desarrollo completo del embrión, aunado a posibles mutaciones genéticas.

Plántulas normales

Con relación al porcentaje de plántulas normales, el análisis estadístico mostró que, los tratamientos pregerminativos presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) mostrando una R^2 de 0.45 (Tabla 2). En T6 se presentó una mayor cantidad de plántulas normales (60.0 %), presentando estadísticamente diferencias con el resto de los tratamientos. Los tratamientos T2 a T4, T8, T10, T12 a T16 y T19 son similares exhibiendo una tasa de 1.50 a 20.33 %; mientras que, los tratamientos T1, T5, T7, T9, T11, T17 a T20 presentaron valores de 0.00 a 1.33 %.



Figura 2. Presencia de hongos en frutos de *I. sonorae*

Por lo tanto, el porcentaje más alto de obtención de plántulas es del 60% en un solo tratamiento, a comparación de los demás que se encuentran entre 1.33 a 20.33%. Estas plántulas normales presentaron una raíz desarrollada con presencia de raíces secundarias (Figura 3) y una parte área bien diferenciada en tallo, hojas y presencia de meristemas de crecimiento (yemas axilares y apicales) (Figura 4). De acuerdo a las características de plántulas normales, se menciona que estas poseen un desarrollo óptimo en sus estructuras esenciales como un sistema radicular con raíz primaria y secundarias, hipocótilo sin daños en el tejido, plúmula en buen crecimiento y hojas bien desarrolladas, además de la presencia de los dos cotiledones (García-López *et al.*, 2016). Por lo tanto, las semillas de *I. sonorae* al ser germinadas en condiciones óptimas y con escarificación mecánica se puede lograr obtener hasta un 60% de plántulas normales, las cuales podrían ser utilizadas para procesos de rehabilitación de comunidades vegetales y para cultivo de tejidos.

Medición de plántulas

Las plántulas obtenidas de los tratamientos con adición de AG³ y sin la adición de fitohormonas no presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$), conforme el análisis estadístico y mostrando una R^2 de 0.002121 (Tabla 3). Las plántulas normales obtenidas por la germinación de semillas mediante escarificación mecánica, embebidas y adicionadas con la fitohormona presentaron una altura promedio de 50.5 mm y su raíz presentó longitud promedio de 53.7 mm a los 20 días; mientras que las plántulas obtenidas únicamente con escarificación mecánica y embebidas presentaron alturas promedio de 50.4 mm y longitud de raíz de 53.7 mm (Tabla 3). Dichas plántulas fueron colocadas en sustrato peat moss, las cuales presentaron un 75% de sobrevivencia a los 20 días después del trasplante.



Figura 3. Raíz de *I. sonorensis* en medio de cultivo WPM



Figura 4. Parte aérea de *I. sonorensis* en medio de cultivo WPM

Tabla 3. Mediciones en plantas normales

Tratamiento	Altura de Tallo (cm)	Longitud de Raíz (cm)
AG ³	50.555 ± 1.555 ^a	53.78 ± 0.378 ^a
SH	50.409 ± 1.776 ^a	53.757 ± 0.383 ^a

*Literales distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$). AG³: Adición de Ácido giberélico en medio de cultivo WPM. SH: Sin adición de fitohormonas en medio de cultivo WPM.

Plántulas anormales

Con base al análisis estadístico en relación con el porcentaje de plántulas anormales, no se observó diferencias significativas ($P < 0.05$) presentando una R^2 de 0.23, mostrando de manera general valores por debajo del 2.71% (Tabla 2).



El desprendimiento total de la testa ocasionó que se obtuviera el porcentaje anteriormente mencionado. Por lo tanto, el 0.16% de las plántulas no lograron desprender en su totalidad la testa, lo que exhibe una falta de humedad que permita la ruptura total, así como una deficiencia de material de reserva, los cuales no permiten un crecimiento óptimo. Además de exponerse características indeseables como la presencia de hojas primarias no desarrolladas que limitarían la captación de energía a través de la fotosíntesis.

Semillas no germinadas

Los tratamientos pregerminativos mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) conforme el análisis estadístico presentando una R^2 de 0.99 (Tabla 2) y un porcentaje total del 38.33%. Los tratamientos T11 y T17 a T20 mostraron una tasa de semillas no germinadas de 98.33 a 99.67% exhibiendo una similitud estadística. En los T12 a T16 presentaron valores de 89.00 a 89.33%. Mientras que, los tratamientos T1, T4 a T6, T9 y T10 son similares con una tasa de 36.33 a 42.33%. Por último, el tratamiento T2 exhibió un porcentaje de 36.33% siendo diferente estadísticamente con el resto de los tratamientos, al utilizar semillas escarificadas y embebidas.

Las semillas no germinadas corresponden a los tratamientos sin escarificación mecánica y sin proceso de imbibición, mostrando que las semillas de *I. sonorae* al presentar una testa impermeable necesita algún tratamiento pregerminativo que permita la captación de agua para comenzar con la activación del metabolismo de la semilla; concordando con lo reportado por [Matilla \(2008\)](#). Donde se menciona que la cubierta seminal al ser dura impedirá la emergencia de estructuras como la radícula, además de interferir o limitar la absorción de agua y el intercambio gaseoso entre el medio y el embrión, así como obstruir la pérdida de compuestos inhibidores de la germinación. También se debe destacar que aunque la semilla se encuentre en condiciones ambientales adecuadas para la germinación, puede que esta no ocurra debido a un estado de dormición presente (latencia), el cual se puede deber por factores como: las cubiertas seminales que sean impermeables al agua u oxígeno, el embrión puede estar inmaduro (dormancia embrionaria) y por último, presentan compuestos inhibitorios que serán transformados o eliminando tras someter a las semillas ante un proceso de post maduración, así como, la ausencia o baja tasa de compuestos promotores de la germinación ([Rossetti, 2014](#)).

CONCLUSIONES

En esta investigación se obtuvo que en *I. sonorae* la tasa de germinación se encuentra por debajo del 62 %, a pesar de utilizar tratamientos pregerminativos y el uso de hormonas vegetales (AG^3). Mientras que, la obtención de plántulas normales se presentó en un 97.29 % en semillas escarificadas, embebidas y adicionadas con AG^3 , menos del 2.71 % se caracterizan por ser plántulas anormales. En relación con las semillas no



germinadas, estas presentaron un porcentaje de 38.33 %, característico de los tratamientos sin escarificación mecánica ni imbibición. Por lo tanto, se determina que a pesar del uso de tratamientos de pre-germinación, las semillas de *I. sonorae* no presentaron un incremento en el porcentaje de germinación, como posible consecuencia de las condiciones ambientales en las cuales se encuentra la especie, la pérdida de su calidad conforme el tiempo de almacenamiento, la presencia de una testa impermeable, la posible falta de maduración en las semillas y la acción de fitopatógenos y larvas de insectos que afecten el proceso de germinación.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al C. Agustín Hurtado Aguayo por las atenciones brindadas, para la realización de este trabajo en el Rancho Las Cruces, en Hermosillo Sonora, México. Así como a José Gustavo Corral, por el apoyo en la colecta de las semillas; y al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo económico otorgado para la realización de esta investigación.

LITERATURA CITADA

AYALA-MORENO AA. 2017. Ahorro energético en edificaciones con aire acondicionado. *Biotechnia*. 19:19–22. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v19i0.361>

GARCÍA-LÓPEZ JI, Ruíz-Torres NA, Lira-Saldivar, RH, Vera-Reyes I, Méndez-Argüello B. 2016. Técnicas para evaluar germinación, vigor y calidad fisiológica de semillas sometidas a dosis de nanopartículas. *Agronano Tecnología*. 2:129-140.

<https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/334/1/Técnicas%20Para%20Evaluar%20Germinación,%20Vigor%20y%20Calidad%20Fisiológica%20de%20Semillas%20Sometidas%20a%20Dosis%20de%20Nanopartículas.pdf>

HERNÁNDEZ-RAMÍREZ F, Iracheta-Donjuan L, Damon AA, Fernández-Pavía SP, Guillén-Navarro K. 2023. Escotoperiodo en la germinación de semillas y crecimiento *in vitro* de *Guarianthe skinneri* (Bateman) Dressler & W. E. Higgins (ORCHIDACEAE). *Revista Polibotánica*. 56:151-170. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.56.8>

ISTA (International Seed Testing Association). 2016. International Rules for Seed Testing. Seed Science and Technology. 27- Supplement. ISTA. Switzerland. Pp. 333. https://www.merconet.eu/files/Seed_Sampling_I_S_T_A.pdf

JMP-Statistical. 2022. Discovering JMP® 17. Cary, NC: JMP Statistical Discovery LLC. https://www.jmp.com/es_mx/software/data-analysis-software.html



LÓPEZ-MÁRQUEZ N. 2017. Caracterización molecular y respuestas *in vitro* de *Ibervillea sonorae* S. Watson (Greene) (Cucurbitaceae) [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma Chapingo. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/188b4355-b672-4e3f-afeb-44ccd936c2c4/content>

MATILLA AJ. 2008. Desarrollo y germinación de las semillas. En: Azcón-Bieto J, Talón M. *Fundamentos de Fisiología vegetal*. Pag 537-558. 2º Ed. McGraw- Hill. España. ISBN: 978-84-481-9293-8.

<https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf>

MC-CAUGHEY-ESPINOZA DM. 2022. Micropropagación, establecimiento y desarrollo en campo de cosahui del sur *Krameria erecta* Willd. ex Schult. & Schult f., en el estado de Sonora. Universidad Autónoma de Sinaloa.

<https://investigadores.unison.mx/es/studentTheses/micropropagaci%C3%B3n-establecimiento-y-desarrollo-en-campo-de-cosahui>

MC-CAUGHEY-ESPINOZA DM, Buitimea-Cantúa GV, Buitimea-Cantúa NE, Ayala-Astorga GI, and Ochoa-Meza A. 2020. Physicochemical properties and yield of chiltepin fruits (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum* D.) cultivated under different growth conditions. *Idesia (Arica)*. 38(3): 77-86.

<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000300077>

MC-CAUGHEY-ESPINOZA DM, Ayala-Astorga, GI, Burboa-Zazueta MG, Retes-López R, Ochoa-Meza A. 2018. Uso de plantas nativas para la rehabilitación de canteras en Sonora. *Idesia (Arica)*. 36(4): 17-24.

<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292018005002401>

MORA-GUTIÉRREZ B. 1988. Germinación de *Cucurbita ficifolia* Bauche (Cucurbitaceae). *Revista de Biología Tropical*. 36(2): 393-397.

<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/23820/23978>

MORALES-SANTOS ME, Peña-Valdivia CB, García-Esteva A, Aguilar-Benítez G y Kohashi-Shibata J. 2017. Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. *Revista Agrociencia*. 51:43-62. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n1/1405-3195-agro-51-01-00043.pdf>



NABOR MW. 2006. *Introducción a la Botánica*. Pearson Addison Wesley. Madrid, España. ISBN 13: 978-84-7829-073-4.

<https://es.scribd.com/document/391742458/Introduccion--a-La-Botanica-Nabors>

PÉREZ-MENDOZA C, Carrillo-Castañeda G, Vidal-Lezama E, Ortiz-García E. 2016. Efecto de la imbibición en la calidad fisiológica de semillas de jitomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7(27): 1765-1773.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7n7/2007-0934-remexca-7-07-1765-en.pdf>

PITA-VILLAMIL JM, Pérez-García F. 1998. Germinación de semillas. Hojas Divulgadoras. Núm. 2090. HD. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. Pp. 20.

https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1998_2090.pdf

PORTUGUEZ-GARCÍA MP, Rodríguez-Ruiz AM, Porrás-Martínez C, González-Lutz MI. 2020. Imbibición y temperatura para romper la latencia de *Ischaemum rugosum* Salisb. *Agronomía Mesoamericana*. 31(3): 793-802.

<https://www.redalyc.org/journal/437/43764233027/html/>

RODRÍGUEZ-BRISEÑO KG, Mc Caughey-Espinoza DM, Magaña-Barajas E, Cruz-Campas M, Ortega-Rosas CI, Celaya-Rosas M. 2024. Determinación de la viabilidad en semillas de wereque [*Ibervillea sonorae* (S. Watson) Greene]. *Abanico Agroforestal*. 6:1-8. <http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/2024.4>

RODRÍGUEZ-BRISEÑO KG y Mc Caughey-Espinoza DM. 2024. El wereque (*Ibervillea sonorae*): especie de valor medicinal en Sonora. *Abanico Boletín Mexicano*. 3: e2024-7.

<https://abanicoacademico.com/abanicoboletinmexicano/article/view/198>

ROSA E. 2001. Enfermedades. Conjunto tecnológico para la producción de melón “Cantaloupe” y “Honeydew”. Universidad de Puerto Rico. <https://www.upr.edu/eea/wp-content/uploads/sites/17/2016/03/MELON-ENFERMEDADES.pdf>

ROSSETTI S. 2014. Análisis de factores que afectan la germinación de semillas de *Panicum coloratum*. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina.

<https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/339>



SAGARPA (Secretaría de Ganadería Agricultura, Rural, Pesca y Alimentación). 2010. Diagnóstico Sectorial Agropecuario, Pesquero y Recursos Naturales del Estado de Sonora. Pp. 52.

http://smye.info/pagina/documentos/sistemas/eval2014/resultados2014/PDF2/SON/Disgnostico_20_octubre_2010.pdf

SIVICOFF. 2020. Diagnostico fitosanitario del estado de Sonora 2020. Gerencia Estatal de Sonora. Pp. 39.

<https://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/02%20Informes%20de%20acciones%20operativas/DiagnosticosEstatales/2020/Sonora.pdf>

TRIGIANO RN, Gray DJ. 2011. *Plant tissue culture, development, and biotechnology*. CRC Press Boca Raton, Florida, USA. ISBN: 9781420083262.

<https://doi.org/10.1201/9781439896143>

VILLANUEVA-CORONADO VM. 2008. Producción de semilla de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) bajo fertilización química y orgánica [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Coahuila, México.

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6257/K%2060725%20Villanueva%20Coronado%2C%20V%3ADctor%20Manuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[Errata, Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-agroforestal/errata>



Abanico Agroforestal. Enero-Diciembre 2025; 7:1-15. <http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/2025.5>

Artículo Original. Recibido: 30/06/2025. Aceptado: 06/10/2025. Publicado: 19/10/2025. Clave: e2025-3

<https://www.youtube.com/watch?v=xBxRxRFO3k>

Obtención de callogénesis y organogénesis de *Ibervillea sonorae* (S. Watson) Greene

Obtaining callogenesis and organogenesis of *Ibervillea sonidae* (S. Watson) Greene



Karla Rodríguez-Briseño*^{1ID}, Diana Mc-Caughey-Espinoza**^{1ID}, Hernán Celaya-Michel^{2ID}, Ángel Ceballos-Chávez^{3ID}, Andrés Ochoa-Meza^{2ID}

¹Universidad de Sonora, Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Avenida Luis Donaldo Colosio s/n Edificio 7G, Centro, 83000 Hermosillo, Sonora, México. ²Universidad de Sonora, Departamento de Agricultura y Ganadería, Carretera 100 a Bahía de Kino km. 21.5, Hermosillo, Sonora, México. ³Universidad Tecnológica de la Tarahumara, Departamento de Ciencias Ambientales y Agropecuarias, Carretera Guachochi-Yoquivo, Km 15, Turuseachi, CP. 33180, Guachochi, Chihuahua, México. *Autor principal: Rodríguez-Briseño, Karla. **Autor de correspondencia: Mc Caughey-Espinoza, Diana. Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad Sonora, Avenida Luis Donaldo Colosio s/n Edificio 7G, Centro, 83000 Hermosillo, Sonora, México. E-mail: karlarodriguez269@gmail.com, diana.mccaughey@unison.mx, hernan.celaya@unison.mx, angel.cebillos.chavez@gmail.com, andres.ochoa@unison.mx

Resumen

La investigación tuvo como objetivo inducir la producción de callogenesis y organogénesis *in vitro* en explantes de *Ibervillea sonorae*. para ello se utilizó como medio de cultivo WPM con la adición de ácido indol-3-butírico (AIB) y 6-bencilaminopurina (BAP) (0.0, 5.0, 10.0 y 15.0 mgL⁻¹) y una combinación fitohormonal 10.0 mgL⁻¹ AIB con BAP (5.0, 10.0 y 15.0 mgL⁻¹), para el análisis estadístico se utilizó un arreglo aleatorizado y una prueba de media de Tukey-Kramer ($p < 0.05$). De acuerdo a los resultados estos arrojaron que existe diferencias significativas, obteniendo callos en tallo con 10.00 mgL⁻¹ AIB y la combinación 10.00 mgL⁻¹ de AIB/5.00 mgL⁻¹ BAP, presentándose una altura y ancho de callo de 2.94 mm y 2.33 mm. En organogénesis con la combinación fitohormonal de 10.00 mgL⁻¹ AIB/5.00 mgL⁻¹ BAP en yema axilar se obtuvo una altura en brotación de 3.34 y en raíces en tallo de 0.52 mm de longitud con 5.00 mgL⁻¹ AIB. La contaminación fue presente fue de 24.94%, y la oxidación del 4.88%. Tras lo anterior, la callogénesis y organogénesis *in vitro* de *I. sonorae* contribuye a la conservación del material fitogenético, disminuyendo la extracción e implementando técnicas para la propagación de la especie.

Palabras clave: cucurbitácea, explante, fitohormona.

Abstract

The research aimed to induce the production of callogenesis and organogenesis *in vitro* in *Ibervillea sonorae* explants. for this purpose, WPM was used as a culture medium with the addition of indole-3-butyric acid (AIB) and 6-benzylaminopurine (BAP) (0.0, 5.0, 10.0 and 15.0 mgL⁻¹) and a phytohormonal combination 10.0 mgL⁻¹ AIB with BAP (5.0, 10.0 and 15.0 mgL⁻¹), for the statistical analysis a randomized arrangement and a Tukey-Kramer mean test were used ($p < 0.05$). According to the results, these showed that there are



significant differences, obtaining stem calluses with 10.00 mgL^{-1} AIB and the combination 10.00 mgL^{-1} of AIB/ 5.00 mgL^{-1} BAP, presenting a callus height and width of 2.94 mm and 2.33 mm. In organogenesis with the phytohormonal combination of 10.00 mgL^{-1} IBA/ 5.00 mgL^{-1} BAP in axillary bud, a sprouting height of 3.34 and a root-stem length of 0.52 mm was obtained with 1.00 mgL^{-1} IBA. Contamination was present at 24.94%, and oxidation was 4.88%. Following the above, *in vitro* callogenesis and organogenesis of *I. sonorae* contributes to the conservation of phylogenetic material, reducing extraction and implementing techniques for the propagation of the species.

Keywords: cucurbit, explant, phytohormone.

INTRODUCCIÓN

Mundialmente, las cucurbitáceas son una familia de relevancia debido a la domesticación de distintas especies para el consumo humano, también se encuentran especies silvestres que cuentan con una distribución restringida y de gran importancia cultural (Lira & Bye, 2018). Sin embargo, en México las cucurbitáceas han presentado gran interés, no solamente de importancia alimentaria, sino también medicinal, permitiendo a su vez, conocer sus poblaciones, propagación y domesticación, un ejemplo de esto son *Sechium edule*, *Luffa aegyptiaca*, *Cucurbita foetidissima* y *Doyerea emetocathartica*. Entre estas especies también se encuentra el wereque (*Ibervillea sonorae* S. Watson Greene), la cual es usada por etnias localizadas al norte de México para el tratamiento de diversas enfermedades, como la diabetes mellitus (Gómez-Guzmán *et al.*, 2023).

El wereque crece en regiones áridas y semiáridas de los estados de Baja California, Sonora y Sinaloa, así como, al sur de Estados Unidos (Texas, Nuevo México y Arizona); es una planta solitaria, trepadora y perenne, con presencia de tallos delgados con zarcillos, cuenta con un bulbo predominante, el cual es expuesto sobre el suelo, sus hojas son pecioladas con flores de un color amarillo opaco y frutos amarillos a rojo anaranjado (Jiménez-Estrada *et al.*, 2013). Debido a la importancia neuropática por sus y aplicaciones para para ayudar a prevenir o curar enfermedades, *I. sonorae* en la actualidad esta presentado un descenso considerable en de sus poblaciones naturales como consecuencia de la extracción de los ejemplares. Por lo que, se busca implementar diversas técnicas biotecnológicas para impulsar el crecimiento de las poblaciones de la especie, así como, contar con material vegetativo en los centros de investigación para realizar la extracción de compuestos de importancia médica (Rodríguez-Briseño *et al.*, 2024).

Dentro de la biotecnología, se encuentra el cultivo de tejidos *in vitro* o micropropagación, donde se emplean secciones de plantas madre para la obtención de descendencia genéticamente similar, todo realizado con total asepsia, controlando el fotoperiodo, temperatura y humedad relativa (Rodríguez-Aguilar *et al.*, 2021). En la técnica de micropropagación se aplican hormonas vegetales, estas permiten inhibir o promover el crecimiento vegetal, potencializando el cultivo de las especies e incrementando su funcionalidad para la investigación e industria farmacéutica (Alcantara-Cortes *et al.*,



2019). Considerando lo anteriormente expuesto, el objetivo de la presente investigación fue establecer las bases para la obtención de callogénesis y organogénesis en explantes de *Ibervillea sonorae*. Dicho logro servirá para la conservación del material fitogenético de la especie y a futuro lograr realizar una micropropagación.

MATERIAL Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Cultivo de Células y de Tejidos Vegetales, perteneciente al Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora (DICTUS).

Especie en estudio

La especie estudiada fue *I. sonorae*, o mejor conocido como wereque. Esta especie es de importancia en grupos étnicos de Sonora, al ser utilizado en el tratamiento de diversas enfermedades y padecimientos como la diabetes mellitus II, distintas afecciones cardíacas y en la piel, entre otras. La especie en estudio se identificó en el herbario de la Universidad de Sonora, al cual se le otorgo el número de catalogo 31331.

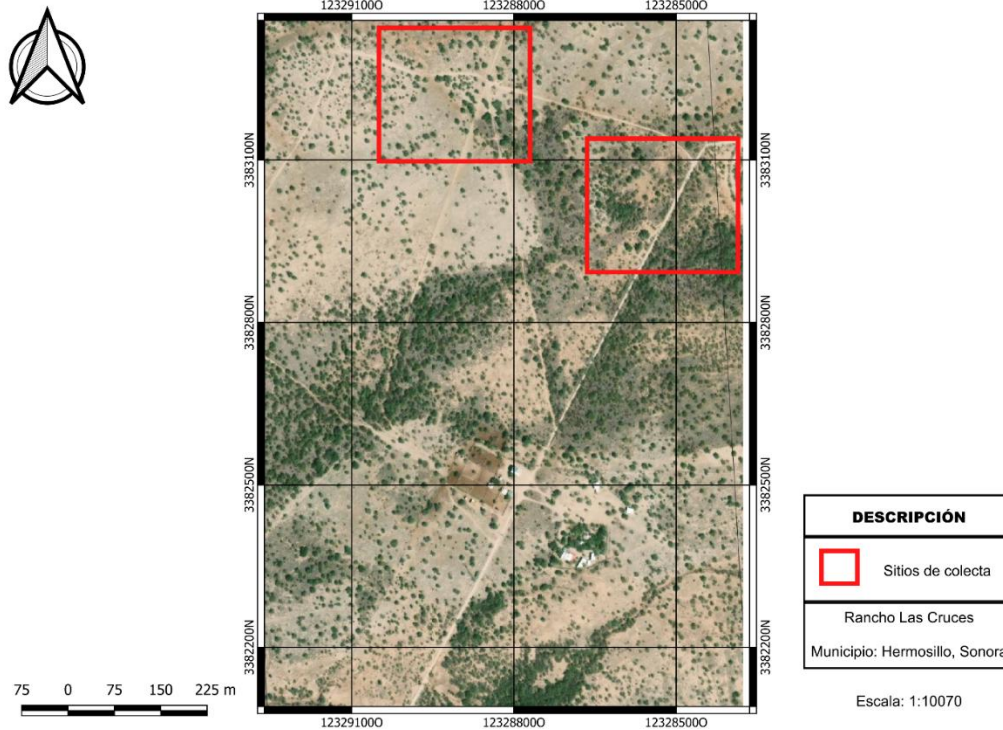


Figura 1. Rancho Las Cruces



Sitio de colecta

Esta se llevó a cabo en el Rancho “Las Cruces” perteneciente al municipio de Hermosillo, Sonora (Figura 1). Este se localiza en las siguientes coordenadas: 29°02' 38.78" Norte y los 110°45' 50.91" Oeste; carretera a Sahuaripa, Sonora, México (Km 16), con 268 msnm. El sitio muestra una precipitación media anual de 330 mm y temperatura promedio de 24° C, con una vegetación de matorral arbosufrutescente ([CONAFOR, 2023](#)).

Preparación del medio de cultivo

Se utilizó el medio de cultivo WPM (Woody Plant Medium) ([Trigiano & Gray, 2011](#)). Al cual se le adicionaron hormonas vegetales como ácido indol-3-butírico (AIB) (auxina) y 6-bencilaminopurina (BAP) (citocinina) a las concentraciones de 0.0, 5.0, 10.0 y 15.0 mgL⁻¹; así como la combinación de 10.0 mgL⁻¹ de AIB con un barrido fitohormonal de 5.0, 10.0 y 15.0 mgL⁻¹ de BAP. El medio de cultivo se ajustó a un pH de 5.7 con NaOH 0.1N. Posteriormente se vertieron 25 ml de medio de cultivo a los frascos de vidrio con capacidad de 113 mL; los cuales fueron etiquetados de acuerdo con la fitohormona y concentración. Por último, estos fueron esterilizados posteriormente, en una autoclave Sterilmatic, a 120°C y una presión de 15 kg/cm² por 18 minutos.

Colecta del material vegetativo

Una vez localizados los ejemplares de *I. sonorae*, se realizó la colecta de las guías (tallos), tomando en cuenta que estas a su vez no presentaran daños por insectos o lagomorfos como también deshidratación de estas (estrés), para la cantidad de muestra del material vegetativo se llevó a cabo de acuerdo con [Mc-Caughey-Espinoza & Rodríguez-Briseño \(2023\)](#). Para ello se utilizaron tijeras, bolsas Ziploc® y hielera, para mantener el material vegetativo colectado en condiciones óptimas durante su traslado al laboratorio. Cabe señalar que, de las guías colectadas, se obtuvieron los explantes de tallos, yemas axilares y hojas.

Desinfección de cámara de flujo laminar y material vegetativo (explantes)

La siembra se realizó en una cámara de flujo laminar (marca Edge Gard Hood, previamente desinfectada con hipoclorito de sodio (NaClO) al 15%, alcohol etílico al 96%, y una lámpara UV de 40W con irradiación de 8- 10 W/m² durante 30 min.

Para la desinfección del material vegetativo, las guías colectadas fueron cortadas de acuerdo con el tipo de explante (hoja, tallo y yema axilar). Estos se desinfectaron con alcohol etílico al 70% durante 3 minutos, seguido de una combinación de hipoclorito de sodio (NaClO) (Cloralex®) al 15% activo con una gota de Tween 20 por 12 minutos, y se realizaron cinco enjuagues con agua desionizada estéril. Al culminar la desinfección, se sumergieron los explantes en una combinación de ácido cítrico (10%) y ácido ascórbico (15%) durante 5 minutos para retardar el estrés oxidativo.



Siembra de explantes y condición del cultivo

Por consiguiente, se sembraron tres explantes por frasco en el medio de cultivo WPM (Figura 2). Durante la siembra, se utilizaron tres mecheros marca Labessa (60 mL) y pinzas desinfectadas con alcohol etílico (96%). Una vez ya sembrados los explantes en sus respectivos frascos, estos se llevaron al cuarto de cultivo con las siguientes condiciones: temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, fotoperiodos de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad, a una intensidad lumínica de $30 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y con una humedad relativa del 75%



Figura 2. Desinfección de explantes de *I. sonorae*

Parámetros evaluados

La evaluación se llevó a cabo por medio de observación directa, comenzando al tercer día después de la siembra, y posteriormente cada siete días (3, 10, 17, ... N días).

A) Callogénesis y organogénesis

Las evaluaciones se basaron de acuerdo con la presencia de callogénesis, tamaño de los callos (alto y ancho), coloración y textura, mientras que, en la organogénesis (completa e incompleta), se consideró la longitud de brotes y raíces.

Las mediciones morfológicas de callogénesis y organogénesis se llevaron a cabo utilizando un vernier marca Mitutoyo Absolute Modelo CD-6ASX con un número de serie 06401649 de 6".



B) Contaminación y oxidación

En este apartado se determinó la presencia de contaminación, tanto en el medio de cultivo y en los explantes.

La oxidación se determinó al observarse un cambio de coloración en los callos y explantes, por lo que se consideró el cambio de coloración natural presente (verde) para el caso de los explantes y color cremoso a verde en callos, en ambos casos el cambio hace referencia al presentarse muerte celular, tomando una coloración marrón.

Análisis estadístico

Se basó en un diseño aleatorizado y un arreglo factorial de tres explantes (hoja, tallo y yema axilar), cuatro concentraciones (0.0, 5.0, 10.0 y 15.0 mgL⁻¹), tres hormonas (AIB, BAP y combinación AIB/BAP) y cuatro repeticiones. Se realizó un análisis de varianza con los datos obtenidos, así como, una comparación de medias con Tukey-Kramer ($p < 0.05$), llevándose a cabo en el programa estadístico JMP versión 17.0 ([JMP Statistical Discovery LLC, 2022](#)).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Con base a los resultados obtenidos, se mostraron diferencias significativas relacionados con los efectos de las hormonas vegetales utilizadas y sus distintas concentraciones en los distintos explantes (hoja, tallo y yema axilar), observándose la estimulación y crecimiento de callogénesis, al igual que, organogénesis incompleta.

Callogénesis y organogénesis

A) Altura y ancho de callo

El inicio de callogénesis en *I. sonorae* comenzó a los 10 días después de la siembra, presentándose callos de una coloración verde claro, así como una apariencia granulosa con textura dura. La evaluación del crecimiento en alto y ancho de los callos presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$), de acuerdo con las concentraciones de las fitohormonas y explantes utilizados (Tabla 1).

De acuerdo con el análisis estadístico, no se observaron diferencias significativas en hoja, con base a las diferentes concentraciones de las fitohormonas aplicadas, exhibiéndose una $R^2 = 0.1758$; exceptuando a las concentraciones de 10.00 mg/L⁻¹ de AIB y 5.0 mg/L⁻¹ de BAP, con una altura promedio de 0.60mm y 0.82 mm, respectivamente. En cuanto al resto de las concentraciones, la altura tuvo una variación de 0.091 mm a 0.12 mm, con un menor crecimiento ante la combinación fitohormonal (AIB/BAP).

La altura de callo en el explante de tallo exhibió diferencias significativas con el uso de las diferentes hormonas y su combinación ($p < 0.05$), mostrando una $R^2 = 0.2512$. Se presentó un crecimiento de 2.26 mm de alto con la combinación 10.00 mg/L⁻¹ de AIB/5.00 mg/L⁻¹ de BAP, mientras que, se observó un crecimiento de 2.92 con la concentración



10.00 mg/L⁻¹ de AIB (Figura 3). El resto de las concentraciones contaron un crecimiento de alto máximo promedio de 1.59 mm, observándose también, crecimiento de callo en la muestra control (0.00 mg/L⁻¹). Se han realizado evaluaciones referentes a la obtención de callos en *I. sonorae* para la obtención de compuestos de interés medicinal, como es el caso de Estrada-Zúñiga *et al.* (2012), logrando obtener callos a los 7 días posteriores a la siembra, con una combinación hormonal de 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) y kinetina (KIN); dichos callos presentaron un color amarillo claro, y su oxidación se presentó alrededor de los 20 días después de la siembra.

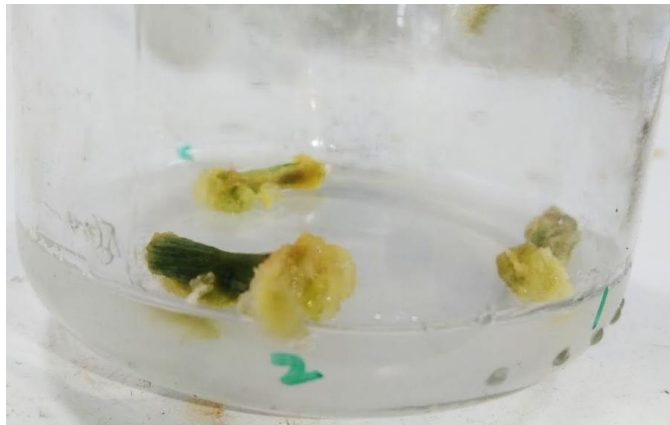


Figura 3. Presencia de callo en explante de tallo (10.00 mg/L⁻¹ de AIB)

Los callos obtenidos en yema axilar mostraron diferencias significativas entre las concentraciones hormonales ($p < 0.05$), mostrando una $R^2 = 0.33$, exceptuando a las concentraciones utilizadas de BAP, con un alto máximo de 0.03 mm. La altura máxima de los callos se presentó tras el uso de la concentración de 10.00 mg/L⁻¹ de AIB, con un alto de 2.91 mm; seguido por una altura de 1.52 mm, presente en el uso de la combinación 10.00 mg/L⁻¹ de AIB/15.00 mg/L⁻¹ de BAP.

Con base al análisis estadístico, el ancho de callo exhibió diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$), presentándose un mayor crecimiento en los explantes de tallo y yema axilar ante la aplicación de la fitohormona AIB y la combinación AIB/BAP, mientras que, en el explante de hoja, así como, la aplicación de BAP en los demás explantes no mostró la presencia de calogénesis. Conforme a lo observado, al evaluar el ancho en el explante de tallo ($R^2 = 0.24$) las concentraciones de 10.00 mg/L⁻¹ de AIB y 10.00 mg/L⁻¹ de AIB/5.00 mg/L⁻¹ de BAP mostraron un ancho de 2.33 mm y 1.85 mm, respectivamente, sin presentarse diferencias significativas entre ambos. De acuerdo con el resto de los tratamientos, el ancho fue menor (1.25 mm).

En yema axilar ($R^2 = 0.32$) se mostró un ancho de 3.13 mm en la concentración de 10.00 mg/L⁻¹ de AIB y de 2.03 mm con la combinación 10.00 mg/L⁻¹ de AIB/5.00 mg/L⁻¹ de BAP; a comparación del resto de concentraciones, con un crecimiento de 0.00 a 1.75 mm. En



el explante de hoja, se presentó un ancho promedio de 1.32 mm con la concentración 10.00 mg/L⁻¹ de AIB (R²= 0.15) (Figura 4); el resto de los tratamientos mostraron un ancho de 0.085 a 0.77 mm, este crecimiento se muestra concentrado la combinación hormonal AIB/BAP, con una disminución ante el aumento de concentración de BAP.



Figura 4. Inducción de callogénesis en hoja a la concentración 10.00 mg/L⁻¹ de AIB

Tabla 1. Callogénesis y organogénesis de *Ibervillea sonora*

Explante	Hormona	Concentración (mg/L)	Callogénesis		Organogénesis		
			Alto (mm)	Ancho (mm)	Brote (mm)	Raíz (mm)	
Hoja	Control	0.00	0.0000 ± 0.0000b	0.0000 ± 0.0000c	0.0000 ± 0.0000a	0.0000 ± 0.0000b	
			0.1169 ± 0.4414b	0.1842 ± 0.6765c	0.0000 ± 0.0000a	0.2423 ± 0.9269a	
	AIB	10.00	0.6040 ± 1.2176 ^a	1.3204 ± 2.8101a	0.0000 ± 0.0000a	0.0000 ± 0.0000b	
			0.0000 ± 0.0000b	0.0000 ± 0.0000c	0.0000 ± 0.0000a	0.0000 ± 0.0000b	
	BAP	5.00	0.0000 ± 0.0000b	0.0000 ± 0.0000c	0.0000 ± 0.0000a	0.0000 ± 0.0000b	
			0.0000 ± 0.0000b	0.0000 ± 0.0000c	0.0000 ± 0.0000a	0.0000 ± 0.0000b	
	10AIB/BAP	5.00	0.8155 ± 1.3033 ^a	0.7679 ± 1.2813b	0.0000 ± 0.0000a	0.0000 ± 0.0000b	
			0.0976 ± 0.3504b	0.1588 ± 0.6436c	0.0000 ± 0.0000a	0.0000 ± 0.0000b	
		10.00	0.0913 ± 0.3433b	0.0848 ± 0.3083c	0.0000 ± 0.0000a	0.0000 ± 0.0000b	
			1.1226 ± 1.6893c	1.2523 ± 2.0443b	0.0000 ± 0.0000a	0.0000 ± 0.0000b	
	Tallo	Control	0.00	0.6264 ± 1.1398d	0.4666 ± 0.8709d	0.0000 ± 0.0000a	0.5195 ± 1.4796a



		10.00	2.9238 ± 3.0415 ^a	2.3333 ± 2.3395a	0.0000 ± 0.0000a	0.0000 ± 0.0000b
		15.00	1.5868 ± 2.0882b	1.2212 ± 1.6067b	0.0000 ± 0.0000a	0.0000 ± 0.0000b
		5.00	0.0000 ± 0.0000e	0.0000 ± 0.0000e	0.0000 ± 0.0000a	0.0000 ± 0.0000b
	BAP	10.00	0.0000 ± 0.0000e	0.0000 ± 0.0000e	0.0000 ± 0.0000a	0.0000 ± 0.0000b
		15.00	0.0000 ± 0.0000e	0.0000 ± 0.0000e	0.0000 ± 0.0000a	0.0000 ± 0.0000b
		5.00	2.2618 ± 2.3024 ^a	1.8474 ± 1.9294a	0.0000 ± 0.0000a	0.0000 ± 0.0000b
	10AIB/B AP	10.00	1.2379 ± 1.5350c	0.9960 ± 1.1891c	0.0000 ± 0.0000a	0.0000 ± 0.0000b
		15.00	0.8202 ± 1.1378c	0.6650 ± 1.0081c	0.0000 ± 0.0000a	0.0000 ± 0.0000b
	Control	0.00	0.8006 ± 1.3468d	0.9068 ± 1.5828c	1.0738 ± 2.1773c	0.0000 ± 0.0000b
		5.00	0.1525 ± 0.5238d	0.1273 ± 0.4327e	0.2283 ± 0.8581d	0.2521 ± 0.9376a
	AIB	10.00	2.9055 ± 2.5718 ^a	3.1260 ± 2.9890a	0.8908 ± 2.2396d	0.0000 ± 0.0000b
		15.00	1.7379 ± 1.8407b	1.7524 ± 1.9806b	0.2517 ± 0.9558d	0.0000 ± 0.0000b
		5.00	0.0000 ± 0.0000e	0.0000 ± 0.0000e	1.0114 ± 1.1914d	0.0000 ± 0.0000b
	BAP	10.00	0.0000 ± 0.0000e	0.0000 ± 0.0000e	0.9537 ± 1.0675d	0.0000 ± 0.0000b
		15.00	0.0252 ± 0.2313e	0.0174 ± 0.1593e	1.0524 ± 1.2384d	0.0000 ± 0.0000b
		5.00	2.3547 ± 2.3144 ^a	2.0345 ± 2.0750b	3.3394 ± 4.0433a	0.0000 ± 0.0000b
	10AIB/B AP	10.00	0.4316 ± 0.9704d	0.3506 ± 0.8175d	1.9639 ± 1.2064b	0.0000 ± 0.0000b
		15.00	1.5192 ± 1.6301c	1.3006 ± 1.4580c	2.4936 ± 1.7867a	0.0000 ± 0.0000b

*Literales distintas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

A) Organogénesis

La organogénesis observada fue de forma incompleta, al no presentarse crecimiento de brote y raíz en un mismo explante durante el tiempo de evaluación.

En yema axilar, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($R^2 = 0.20$), observando que en la combinación de fitohormonas 10.00 mg/L⁻¹ de AIB/5.00 mg/L⁻¹ de BAP (3.34 mm) y 10.00 mg/L⁻¹ de AIB/15.00 mg/L⁻¹ de BAP (2.49 mm) son similares entre ellos estadísticamente, mostrando la mayor altura de brote a comparación de los otros tratamientos, además de observarse callogénesis en las secciones de corte del explante (Figura 5). De acuerdo con [Sánchez-Hernández et al. \(2009\)](#), en especies domesticadas como *Cucurbita pepo*, la inducción de organogénesis se presentó a los 20 días después de la siembra en el medio de cultivo Murashige and Skoog (MS), adicionado con 1.0 mg/L⁻¹ de BAP; mientras que en el presente trabajo se empleó el medio WPM y un inicio

de organogénesis a los 10 días después de la siembra en los explantes utilizados, con la fitohormona AIB y la combinación AIB/BAP.



Figura 5. Presencia de organogénesis incompleta y callo en yema axilar (10.00 mg/L⁻¹ de AIB/5.00 mg/L⁻¹ de BAP)

La producción de raíz de yema axilar se presentó posteriormente a los 17 días después de la siembra, mientras que en tallo fue a los 24 días. En hoja, se mostraron diferencias significativas según el análisis estadístico ($R^2= 0.06$), mostrando un crecimiento de raíz de 0.24 mm con el tratamiento 5.00 mg/L⁻¹ de AIB; el resto de las concentraciones son similares estadísticamente, sin mostrarse presencia de raíz.

En tallo, la longitud de raíz mostro diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las distintas concentraciones, presentando una de $R^2= 0.10$; el tratamiento 5.00 mg/L⁻¹ de AIB pudo inducir el crecimiento de raíz (0.52 mm) (Figura 6), a diferencia del resto de tratamientos, en los cuales no se produjo crecimiento de raíz.

Mientras que, en yema axilar la inducción de raíz mostro diferencias significativas ($R^2= 0.06$), presentándose un crecimiento de 0.25 mm de raíz en explantes con el uso de la concentración 5.00 mg/L⁻¹ de AIB, siendo estadísticamente distinto al resto de los tratamientos, los cuales no mostraron presencia de raíz. Según con [Arciniega-Carreón et al. \(2017\)](#), en segmentos nodales de *I. sonorae*, la inducción de organogénesis puede presentarse hasta en un 100%, contando con un 87.5% de producción de raíces con longitud de 5.8 cm a los 21 días con la utilización de auxinas como AIB con una concentración de 3.0 mgL⁻¹.

En la presente investigación, se obtuvieron raíces de 0.52 mm con la concentración de 5.00 mgL⁻¹ de AIB en explante de tallo a los 17 días después de la siembra, mostrando que no solo en segmentos nodales se puede producir la inducción de raíces. De acuerdo con [Agarwal \(2014\)](#), la brotación depende de la concentración de citoquininas presentes

en el medio, ya que estas muestran una función de señalización, causando la activación de las células totipotentes de los callos y explantes que, ante la presencia de auxinas, se incrementa la estimulación de células somáticas y meristemáticas para el desarrollo de brotes y raíces. A través de esta investigación se puede observar la importancia de realizar otras investigaciones, aumentando la concentración fitohormonal y combinaciones para lograr generar una organogénesis completa y establecer las bases para la producción de nuevos ejemplares de *I. sonorae*. Así mismo disminuir el porcentaje de contaminación siendo un factor de riesgo en la micropropagación.



Figura 6. Crecimiento de raíz en tallo con la concentración de 5.00 mg/L⁻¹ de AIB

Contaminación y oxidación

Se pudo observar una contaminación del 24.94%, siendo representada principalmente por hongos de apariencia algodonosa y colores claros (Figura 7). De acuerdo con [Álvarez-Martínez et al. \(2023\)](#), es de importancia la edad fisiológica del material vegetativo, debido a que los explantes obtenidos de plantas en crecimiento permiten un mayor porcentaje de desinfección, a comparación del uso plantas maduras que presentan una mayor cantidad de lignificación, lo cual actúa como barrera para los agentes desinfectantes. En especies de Cucurbitaceas silvestres como *Momordica dioica*, es usual la manifestación de contaminación fúngica y bacteriana causado por géneros como *Alternaria*, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Mycobacterium*, entre otros, así como, la sensibilidad de los explantes a desinfectantes como el hipoclorito de sodio, mostrando una contaminación entre el 50 al 70%, así como de oxidación en el cultivo *in vitro* de *M. dioica* ([Kumar-Rai et al., 2012](#); [Pariani, 2015](#)).



Figura 7. Contaminación en explante de hoja de *I. sonorae*

En esta investigación, la oxidación en callos se presentó en un 4.88% en promedio, percibiéndose a los 27 días después de la siembra, donde se exhibió un cambio de coloración verde tenue a un color café claro, infiriendo así, la muerte de las células que conforman al callo (Figura 8). El cambio de la coloración en los callos se atribuye a la alteración en las enzimas ligadas al metabolismo secundario, síntesis de pigmentos y de fenoles como respuesta al estrés oxidativo (López-Santos *et al.*, 2024).

La oxidación en el cultivo de tejidos *in vitro* es principalmente causada por el efecto de los desinfectantes antes de la siembra, así como, el corte realizado a los explantes, la composición del medio WPM y su volumen (Azofeifa, 2009). Lo anterior debido a la generación del estrés oxidativo que produce radicales libres (ROS), impidiendo el crecimiento de las células y su proliferación y, por consiguiente, la muerte celular (Cabral-Miramontes *et al.*, 2022). Por lo tanto, se realiza la utilización de antioxidantes como el ácido cítrico y ascórbico durante la siembra como en la presente investigación, lo que permite disminuir el estrés oxidativo en el material vegetativo y a su vez, en los callos desarrollados.

CONCLUSIONES

Se logró la inducción de callogénesis y organogénesis en los 10 días posteriores a la siembra en los explantes de yema axilar y tallo, con la combinación fitohormonal de 10.00 mgL⁻¹ de AIB/1.00 mgL⁻¹ de BAP se obtuvieron callos en tallo (2.26 a 2.94 mm de alto y 1.85 a 2.33 de ancho) y yema axilar (2.91 mm de alto y 3.13 mm de ancho) al utilizar 10.00 mgL⁻¹ de AIB. La organogénesis fue incompleta, obteniéndose brotes de 3.34 mm en yema axilar con la combinación fitohormonal de 10.00 mgL⁻¹ de AIB/5.00 mgL⁻¹ de BAP. Mientras que, las raíces generadas en los tallos con 5.00 mgL⁻¹ de AIB, mostraron una longitud promedio de 0.52 mm. En cuanto a la contaminación y oxidación se mostró de manera general un 24.94 y 4.88%, respectivamente.



Figura 8. Oxidación en callos de *I. sonorae*

LITERATURA CITADA

ALCANTARA-CORTES JS, Acero-Godoy J., Alcántara-Cortés JD y Sánchez-Mora RM. 2019. Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *Nova*. 17(32): 109-129.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702019000200109

ÁLVAREZ-MARTÍNEZ A, Mc Caughey-Espinoza DM, Ochoa-Meza A, Buitimea-Cantúa NE, Fuentes-Verduzco C, Magaña-Barajas E. 2023. Producción de callogénesis en explantes de *Vitex mollis* Kunth recurso fitogenético de la selva baja caducifolia. *Idesia (Arica)*. 41(2). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292023000200077>

AGARWAL M. 2014. Tissue culture of *Momordica charantia* L.: A review. *Journal of Plant Sciences*. 3(1).

<https://www.sciencepublishinggroup.com/article/10.11648/j.jps.s.2015030101.14>

ARCINIEGA-CARREÓN IY, Oliver-Salvador C, Ramírez-Sotelo MG and Salas CE. 2017. Efficient *in vitro* plant regeneration from internode explants of *Ibervillea sonorae*: an antidabetic medicinal plant. *HortScience*. 52(7): 1000-1005.

<https://doi.org/10.21273/HORTSCI11942-17>

AZOFEIFA Á. 2009. Problemas de oxidación y oscurecimiento de explantes cultivados *in vitro*. *Agronomía Mesoamericana*. 20(1): 153-175. ISSN: 1021-7444.

https://www.mag.go.cr/rev_meso/v20n01_153.pdf



CABRAL-MIRAMONTES JP, Chávez-Simental JA, González-Portillo M, Goche-Télles JR, Barragán-Hernández VM. 2022. Propagación in vitro de manzano a partir de embriones cigóticos maduros. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 13(4): 603-616. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i4.2164>

CONAFOR. 2023. Programa Operativo de Sanidad Forestal 2023 del estado de Sonora. Comité Técnico Estatal de Sanidad Vegetal: Comisión Nacional Forestal. <https://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/02%20Informes%20de%20acciones%20operativas/DiagnosticosEstatales/2023/Sonora.pdf>

GÓMEZ-GUZMÁN A, Ramírez-Sotelo MG, Oliver-Salvador MC, García-Salas S, Cornejo-Garrido J, Ordaz-Pichardo C. 2023. Anti-hyperglycemic activity of aqueous extracts of cells produced in *Ibervillea sonorae* (S. Watson) Green cell culture on murine model. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*. 22(1): 68-85. <https://doi.org/10.37360/blacpma.23.22.1.6>

JIMÉNEZ-ESTRADA M, Velázquez-Contreras C, Garibay-Escobar A, Sierras-Canchola D, Lapidco-Vázquez R, Ortiz-Sandoval C, Burgos-Hernández A y Robles-Zepeda RE. 2013. *In vitro* antioxidant and antiproliferative activities of plants of the ethnopharmacopeia from northwest of Mexico. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 13(12): <https://doi.org/10.1186/1472-6882-13-12>

JMP (Statistical Discovery LLC). 2022. Discovering JMP® 17. Cary, NC: JMP Statistical Discovery LLC. <https://www.jmp.com/es/software/data-analysis-software>

KUMAR-RAI G, Singh M, Prakash-Rai N, Bhardway DR and Kumar S. 2012. *In vitro* propagation of spine gourd (*Momordica dioica* Roxb.) and assessment of genetic fidelity of microrpropagated plants using RAPD analysis. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 18: 273-280. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12298-012-0109-7>

LIRA R, Bye R. 2018. Las cucurbitáceas en la alimentación de los dos mundos. *Históricas digital* 3(1): 199-226. ISBN 978-970-32-0852-4. https://historicas.unam.mx/publicaciones/publicadigital/libros/323/323_06_15_cucurbitaceas.pdf

LÓPEZ-SANTOS VR, Gutiérrez-Miceli FA, Silverio-Gómez MC, Lecona-Guzmán CA. 2024. Discusión de la oxidación e inducción de estructuras proembriogénicas en *Sideroxylon capiri* (A. DC.) Pittier. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 15(84): 81-104. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i84.1454>



MC CAUGHEY-ESPINOZA DM, Rodríguez-Briseño KG. 2023. Colecta de material vegetal de plantas silvestres. *Abanico Boletín Mexicano*. 2(1): <https://doi.org/10.21929/abanicoboletin/2023.6>

PARIANI S. 2015. Capítulo 4: *La incubadora: Condiciones ambientales del cultivo y asepsia*. En: S. Sharry, M. Adema y W. Abedini (Eds.) *Plantas de probeta: Manual para la propagación de plantas por cultivo de tejidos in vitro*. Pp. 73-80. Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires. ISBN 978-950-34-1254-1.
<https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/view/407/374/1278-1>

RODRÍGUEZ-AGUILAR SP, Muñoz-Olvera A, Durán-Flores R, Hernández-Feregrino J, Limón-Medrano JP, Hernández-Hernández HM. 2021. Micropropagación como alternativa para evitar la extinción de plantas endémicas. *Journal of Bioengineering and Biomedicines Research*. 5(3):1-5. <https://cmibq.org.mx/jbbr/images/doc/jbbr-vol-5-no-3/jbbr-vol-5-no-3-1.pdf>

RODRÍGUEZ-BRISEÑO K, Mc Caughey.Espinoza D, Hayano-Kanashiro A, Ochoa-Meza A, Celaya-Michel H, Retes-López R. 2024. Inducción de callogénesis y organogénesis en segmentos nodales de *Hyptis albida*. *Revista Idesia*. 42(2): 11-18.
<https://doi.org/10.4067/S0718-34292024000200011>

SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ MA, Sánchez-Hernández C, Villanueva-Verduzco C, Gil-Vázquez I, Jiménez-Rojas MC, Sánchez-Cabrera I. 2009. Multiplicación *in vitro* vía organogénesis en calabaza. *Agronomía Mesoamericana*. 20(1): 11-22. ISSN: 1021-7444.
https://www.mag.go.cr/rev_meso/v20n01_011.pdf

TRIGIANO RN, Gray DJ. 2011. *Plant tissue culture, development and biotechnology*. First Edition. Taylor & Francis Group. Pp. 608. ISBN: 9780429111891.
<https://doi.org/10.1201/9781439896143>

Errata, Erratum

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-agroforestal/errata>



Abanico Agroforestal. Enero-Diciembre, 2025; 7:1-14. <http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/2025.7>
Artículo Original. Recibido: 25/04/2025. Aceptado: 02/12/2025. Publicado: 15/12/2025. Clave: e2025-16
https://www.youtube.com/watch?v=r_R9i1nI49o

Ribotipificación de bacterias patógenas mesófilas aisladas de
composta de cuyinaza

Ribotyping of mesophilic pathogenic bacteria isolated from cuyinaze
compost

Carlos Carmona-Gasca^{*1} , Fidel Avila-Ramos² , Omar Prado-Rebolledo³ , Arturo García-Casillas³ , Gerardo Bautista-Trujillo⁴ 
⁵ , Olivia Castillo-Sánchez⁵ , Sergio Martínez-González^{**1} 



¹Universidad Autónoma de Nayarit. Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Km 3.5 Carretera Compostela – Chapalilla, Compostela, Nayarit, México CP 63700. ²Universidad de Guanajuato. Campus Irapuato-Salamanca, División de Ciencias de la Vida, Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Ex Hacienda El Copal Km. 9, Carretera Irapuato-Silao, Irapuato, Guanajuato, México C.P. 36500. ³Universidad de Colima. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Kilometro 40 Autopista Colima-Manzanillo. Tecomán, Colima, México. C.P. 28100. ⁴Benemerita Universidad Autónoma de Chiapas. Instituto de Investigación de Plantas Medicinales Chiapanecas. Carretera Emiliano zapata KM 8, Rancho San Francisco. Chiapas, México. ⁵Universidad Nacional Autónoma de México. Grupo de Investigación en *Leptospira* y Leptospirosis, Centro de Enseñanza Investigación y Extensión en Producción Animal en Altiplano, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Tequisquiapan 76795, México. *Autor responsable: Carlos Carmona-Gasca. **Autor de correspondencia: Sergio Martínez-González. E-mail: carmonagasca@uan.edu.mx, ledifar@ugto.mx, omarpr@ucol.mx, cesargarciasillas@hotmail.com, gerardourielbautista@gmail.com, olicastillos@yahoo.com.mx, sergio.martinez@uan.edu.mx

RESUMEN

El manejo y transformación de excretas en unidades de producción cuyícola por su impacto ambiental es una necesidad y el compostado de cuyinaza es una práctica que va en aumento por la facilidad de transformar el excremento en un producto útil en el sector agrícola. Por su origen las compostas de estiércoles tienen una carga de microorganismos del tracto intestinal y otros ambientales que se sabe participan el proceso de compostaje, por lo que el conocer la diversidad de bacterias es clave para la toma de decisiones; por un lado, identificar los microorganismos benéficos para futuros usos en biotecnología y agroindustria y los perjudiciales para tomar medidas en la prevención de enfermedades. El objetivo del presente estudio fue realizar un análisis bacteriológico general cuantitativo y cualitativo de la composta de cuyinaza. El análisis fue realizado mediante el conteo de enterobacterias y mesófilos totales, los aislados en cultivo puro fueron identificados por PCR-secuenciación de la región variable 3 del gen 16S rRNA (SRV3), las secuencias fueron editadas y posteriormente identificadas mediante la búsqueda de secuencias más altamente similares con una identidad del 100 %. En análisis filogenético demostró la presencia de diez clonas contenidas en dos grupos, el más abundante de bacterias Gram negativas formado por dos clonas y el grupo más diverso, pero menos abundante de bacterias Gram positivas. El proceso de compostado de cuyinaza permite el desarrollo y mantenimiento de bacterias mesófilas aerobias oportunistas ambientales con potencial impacto en salud pública y salud animal pero también existen bacterias con potencial uso industrial y biotecnológico.

Palabras clave: cuye, *Cavia porcellus*, microbioma aislable, enterobacterias.



ABSTRACT

The management of excretes in guinea pig production units due to its environmental impact is a necessity, and the composting of guinea pig is a practice that is increasing due to its usefulness in the agricultural sector. The manure compost has a load of intestinal microorganisms and other environmental organisms, so knowing the diversity of bacteria is key for decision-making; e.g., to identify beneficial microorganisms in the agribusiness and those that cause diseases. The objective of the present study was to carry out a general quantitative and qualitative bacteriological analysis from guinea pig compost. The analysis was carried out by counting total Enterobacteriaceae and mesophiles, the isolates in pure culture were identified by PCR-sequencing of the variable region 3 of the 16S rRNA gene, the sequences were edited and identified by searching highly similar with 100 % identity. Phylogenetic analysis showed the presence of ten clones in two groups, the most abundant of Gram- bacteria formed by two clones and the most diverse but less abundant group of Gram+ bacteria. The guinea pig composting process allows the development of environmental mesophilic bacteria with potential impact on public health and animal health, but there are also bacteria with potential biotechnological use.

Keywords: guinea pig, *Cavia porcellus*, isolable microbiome, enterobacteria.

INTRODUCCIÓN

La producción de cuyes (*Cavia porcellus*) se encuentra en desarrollo constante por el aumento de la demanda de carne para consumo humano, uso como modelo de laboratorio y últimamente como animal de compañía (Sánchez-Macías *et al.*, 2018). Así las excretas (cuyinaza) generadas van en aumento y con ello, es importante realizar un adecuado manejo de éstas como sucede con los estiércoles de otras especies domésticas, por tal motivo la utilización y procesamiento de la cuyinaza debe ser primordial en las empresas pecuarias de producción de cuyes (Aragadvay-Yungán, 2013).

La composta de cuyinaza ha sido utilizada como fertilizante orgánico para el suelo, mejora la textura y la proliferación de microorganismos, lo cual permite un cultivo libre de agroquímicos y residuos nocivos para la salud humana (Aragadvay-Yungán, 2013). En el proceso de composteado actúan diferentes organismos entre los que destacan insectos, hongos macroscópicos, levaduras, protozoarios, bacterias aerobias y anaerobias. Estas últimas utilizan los sustratos convirtiéndolos principalmente en productos mineralizados, CO₂, H₂O y NH₄⁺ estabilizándolas en su mayoría como sustancias húmicas. Estudios metagenómicos describen la presencia de una gran diversidad de bacterias encontradas en el intestino de los cuyes, esta diversidad está compuesta por cientos de géneros bacterianos donde dominan microorganismos Gram positivos y anaerobios (Hildebrand *et al.*, 2012). Los cambios dinámicos en las comunidades microbianas son un factor importante en la degradación de la materia orgánica de la composta donde los microorganismos del tracto gastrointestinal de los cuyes y microorganismos ambientales son parte de la microbiota que es encontrada comúnmente en la composta (Umsakul *et al.*, 2010).

Dada la utilidad que las compostas de cuyinaza tienen en el sector agropecuario, los estudios microbiológicos deben realizarse para identificar microorganismos benéficos y



perjudiciales. Se cree que independientemente de las bacterias de importancia en el proceso de composteado existen bacterias exitosas que se mantienen de manera particular en la composta de cuyinaza. Por lo que el objetivo del presente estudio fue identificar las bacterias mesófilas aisladas de composta de cuyinaza.

MATERIAL Y MÉTODOS

Obtención de la composta

La unidad de producción cuyícola tiene las siguientes características: un área de 5x6 m con 100 vientres, 10 machos y sus crías de cuyes (*Cavia porcellus*) de raza peruana con reproducción continua, con fines de compañía y carne. Está ubicada en Xalisco, Nayarit, México; en los paralelos 21°18' y 21° 30' de latitud norte; los meridianos 104° 44' 105° 09' de longitud oeste; altitud de 2200 msnm. En la zona predomina el clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano e invierno con una humedad promedio de 35.35%. La precipitación promedio anual es de 2000 mm y una temperatura promedio anual en verano de 26.0 °C y en invierno de 16 °C. Los animales fueron alimentados con forraje Tanzania, alimento peletizado para conejo y agua al libre acceso (Xicohtencatl, 2013). Las muestras de composta fueron obtenidas de diferentes lugares de la cama en bolsas de polietileno a 30 cm por abajo de la superficie, se considera composta cuando el excremento se encuentra totalmente pulverizado y degradado por acción de los organismos que habitan en la composta (Aguirre-López, 2017; Salgado-Moreno *et al.*, 2022).

Análisis microbiológico

A partir de las muestras obtenidas, se realizó el conteo de mesófilos aerobios totales con diluciones décuples seriadas desde 10⁻¹ hasta 10⁻⁶ en solución salina fisiológica. 500 µl de cada dilución se colocaron en placas Petri que contienen los medios Agar Métodos Estándar (AME) y Agar Mc Conkey (AMc) por triplicado, extendiéndolas con ayuda de un asa de Drigalsky de cristal estéril, se incubaron durante 18 a 24 horas a 37°C en una estufa bacteriológica. Se identificaron de forma exhaustiva todas las colonias diferentes en los primocultivos. Todas las colonias diferentes fueron resembradas en cultivo puro incubándose nuevamente durante 12 a 24 horas a 37 °C. Los criterios que se utilizaron para clasificar las colonias fueron los siguientes: Tamaño de la colonia calculado en mm, pigmentación, forma de la colonia que incluye elevación y bordes, aspecto de la superficie, cambios en los medios como resultado del crecimiento bacteriano (Bautista-Trujillo *et al.*, 2013).

Identificación bacteriana

Todas las colonias desarrolladas en cultivo puro no mayores a 24 horas fueron identificadas de acuerdo a su afinidad titoreal y su morfología microscópica con la tinción de Gram y KOH al 3% (Winn *et al.*, 2013). Al mismo tiempo fueron sembradas en 5 ml



de caldo nutritivo con 10% de glucosa y se incubaron a 37°C por 24 horas, todos los aislados bacterianos fueron preservados en congelación a -20°C, por lo que se depositaron en un criotubo 700 µl del cultivo con 300 µl de glicerol estéril. El cultivo restante se centrifugó en un microtubo de 1.5 ml a 12,500 Xg/ 5 min, hasta obtener la pastilla bacteriana, se decantó el sobrenadante y el tubo debidamente rotulado se guardó en congelación a -20°C hasta el momento de realizar la extracción de ADN ([Bautista-Trujillo *et al.*, 2013](#)).

El procedimiento de extracción de ADN de las cepas aisladas se realizó con base a la información proporcionada por la afinidad tintorial. Para los microorganismos Gram positivos se utilizó un método de lisis enzimática y para los microorganismos Gram negativos se realizó un protocolo de lisis por choque térmico, los extractos de ADN se guardaron a -20 °C hasta el momento de su uso en la técnica de PCR ([Green & Sambrook, 2001](#); [Luque & Herráez, 2001](#); [Gill *et al.*, 2016](#); [Gautam, 2022](#)).

A partir de las muestras de ADN se realizó la identificación de los aislados mediante la secuenciación de la región variable 3' del gen de ARNr 16S, se utilizaron los iniciadores degenerados SRV31 (5'-CGG YCC AGA CTC CTA CGG G-3') y SRV32 (5'-TTA CCG CGG CTG CTG GCA C-3') que amplifican un segmento de aproximadamente 200 pb ([Lee *et al.*, 1996](#)). Las concentraciones de los reactivos fueron las siguientes: 3.3 mM de dNTPs (dATP, dCTP, dGTP dTTP), 10 pM de cada iniciador SRV31 y SRV32, 3 mM MgCl₂, 1 UI de Taq polimerasa y como template 5 µl de ADN en volumen total de 50 µl.

Los fragmentos de ADN amplificados por PCR fueron separados por peso molecular mediante electroforesis horizontal en geles de agarosa al 1.5 % con solución buffer TAE 1X (Tris-Ácido acético-EDTA pH 8) a 90 volts durante 20 minutos y teñidos con bromuro de etidio a una concentración de 10 µg/ml. Se utilizó azul de bromofenol y xilencianol como colorante de carga y marcador de peso molecular 1Kb Plus DNA Ladder 250 µg (1.0 µg/µl). Para visualizar los fragmentos de ADN teñidos con bromuro de etidio se utilizó un transiluminador. Los productos obtenidos se purificaron mediante un método con Polietilenglicol 8000.

Los productos de PCR ya purificados se mandaron a secuenciar a la empresa Macrogen INC en Seúl Corea. Se utilizó un secuenciador de ADN 23 ABI 3730XLs para su secuenciación capilar tipo Sanger. Los cromatogramas fueron analizados y editados con el programa Chromas PRO®, las secuencias ya editadas se buscaron con la herramienta Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) para identificar las secuencias más altamente similares en el GenBank y se tomó la mayor identidad como identificación de la especie.

A partir de las secuencias de 197 nucleótidos de construyó la historia evolutiva a escala donde se usó el algoritmo Neighbor-Joining con 2,000 réplicas. El porcentaje de réplicas



con el que están emparentados conjuntamente todos los aislados es mostrado cerca de cada derivación. Las distancias evolutivas fueron calculadas del método de máxima verosimilitud. En análisis fue realizado con las 10 secuencias con longitud de 197 nucleótidos. El análisis evolutivo fue realizado con el programa MEGA 7.0 (Kumar *et al.*, 2016). Las UFC fueron comparadas con el procedimiento GLM de SAS y la prueba Tukey para comparar las medias en el programa Estadístico SAS (SAS, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se sabe que el estiércol de los cuyes contiene una gran variedad de microorganismos que pueden ser patógenos o no patógenos y que estos pueden sobrevivir en el ambiente (Kakimoto *et al.*, 2007). Estudios de metagenómica revelan que los géneros bacterianos Bacteroidetes y Firmicutes dominan en la microbiota fecal. Específicamente, el filo Verrucomicrobia fue dominante y dentro de este el género *Akkermansia* se encuentra en un 83 %. Estudios revelan que más de 370 géneros bacterianos constituyen la microbiota del intestino de los cuyes (Hildebrand *et al.*, 2012; Takahashi *et al.*, 2005). Pero el conocimiento de la diversidad microbiana patógena que se encuentra en la composta de la cuyinaza es limitado, pues la microbiota intestinal de los cuyes es muy heterogénea (Takahashi *et al.*, 2005). Una desventaja de los estudios moleculares para identificación de microbiomas, es el no poder tener los microorganismos aislados viables para posteriores estudios y usos de esas bacterias.

La composta de cuyinaza tuvo $15.33 \pm 0.68 \times 10^7$ y $14.77 \pm 0.40 \times 10^7$ UFC mesófilos y enterobacterias totales respectivamente. Las enterobacterias aisladas constituyeron el 96.38 % de los aislados, de ellos, el 78.72 % fueron fermentadoras y el 17.66 % fueron no fermentadoras al no haber diferencia estadística con los conteos de mesófilos totales, se concluye que las bacterias mesófilas son predominantemente enterobacterias ($P < 0.05$) (Tabla 1).

Table 1. Medias \pm error estándar conteo de mesófilos totales y enterobacterias encontradas en la composta de cuyinaza

Mesófilos totales	15.33 ± 0.68^a
Fermentadoras	12.83 ± 0.60^a
No fermentadoras	1.93 ± 0.29^b
Enterobacterias totales	14.77 ± 0.40^a

Los números reflejan la cantidad de 10^7 UFC. Literales diferentes indican diferencia estadística Tukey ($P < 0.05$).

Estudios sobre conteos de microorganismos mesófilos y enterobacterias son prácticas habituales para conocer la seguridad microbiológica de productos de uso humano que permite resguardar los microorganismos aislados para posteriores estudios y posibles usos (Oliveira *et al.*, 2012). Es de esperarse que muchos de estos microorganismos se



encuentren normalmente en las camas de estiércol y que participen en la degradación en el proceso de compostización. De acuerdo con la naturaleza microbiológica de la composta de excretas de diferentes animales domésticos como la composta de bovinaza (Abdel-Mohsein *et al.*, 2011) y la composta de cerdaza (Yi *et al.*, 2012), las compostas tienen una carga de mesófilos de 10⁶ a 10⁸ UFC/g. Como en otros hábitats, menos del 1% de la población bacteriana puede ser cultivada por métodos de laboratorio estándar (Roy Chowdhury *et al.*, 2014; Riber *et al.*, 2014).

La secuencia del gen 16S ARNr *rrs* es el marcador molecular más utilizado para la identificación precisa y rápida de bacterias, que se ha utilizado como una prueba estándar de oro para la validación de sistemas de identificación de microorganismos (Bautista-Trujillo *et al.*, 2013). El análisis de SRVs mostró la identidad de las especies bacterianas aisladas a partir de la búsqueda de secuencias más altamente similares en el Genbank. Con las secuencias curadas de 204 nucleótidos se obtuvo la relación de los aislados obtenidos (Figura 1).

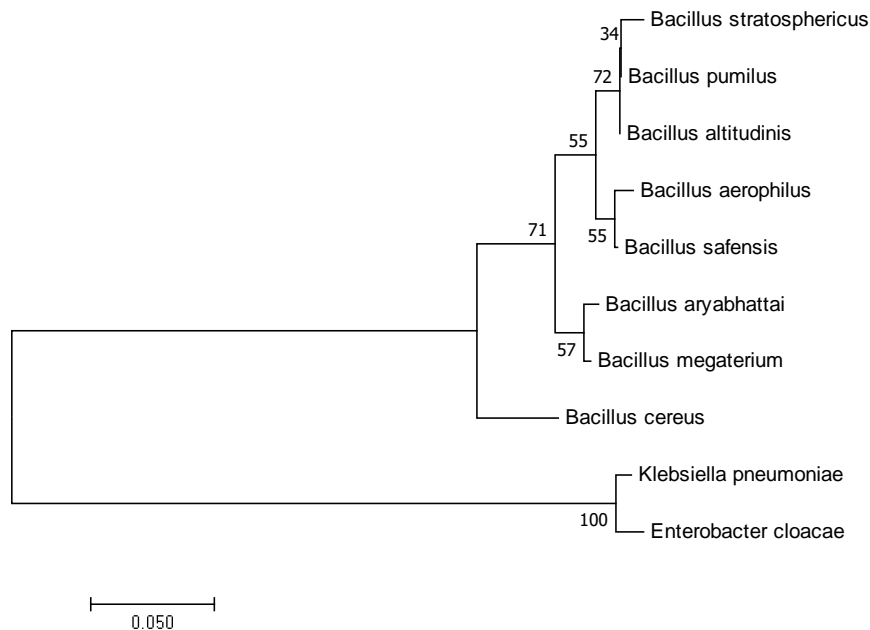


Figura 1. Historia evolutiva inferida con el algoritmo Neighbor-Joining con 2,000 réplicas a partir de las secuencias de las regiones SRV3 obtenidas en este estudio a partir de los aislados de la composta de cuyinaza. El porcentaje de réplicas donde están todos los emparentados conjuntamente es mostrado cerca de cada derivación.

Por la naturaleza del sustrato, las compostas de excretas de animales son ricas de enterobacterias. La diversidad de los cultivos bacterianos de composta de cuyinaza estuvo representada por el 96.38 % de enterobacterias Gram negativas, las cuales



predominantemente fueron *Klebsiella pneumoniae* y *Enterobacter cloacae* ($P < 0.05$) y el restante 3.62 % fueron bacterias Gram positivas que incluyeron ocho especies del género *Bacillus* ($P < 0.05$) (Tabla 2).

Tabla 2. Especies bacterianas aisladas de la composta de cuyinaza

<i>Klebsiella pneumoniae</i>	123.33 ± 10 ^a
<i>Enterobacter cloacae</i>	27.66 ± 2 ^b
<i>Bacillus altitudinis</i>	0.66 ± 1 ^c
<i>Bacillus aerophilus</i>	0.33 ± 1 ^c
<i>Bacillus aryabhattai</i>	0.33 ± 1 ^c
<i>Bacillus stratosphericus</i>	0.66 ± 1 ^c
<i>Bacillus megaterium</i>	0.33 ± 1 ^c
<i>Bacillus pumilus</i>	1.66 ± 1 ^c
<i>Bacillus safensis</i>	1.00 ± 0 ^c
<i>Bacillus cereus</i>	0.66 ± 1 ^c

Los números reflejan la cantidad de 10⁷ UFC. Literales diferentes indican diferencia estadística Tukey ($P < 0.05$).

El microorganismo predominante encontrado en la composta de cuyinaza fue *Klebsiella pneumoniae*, la cual se caracteriza por ser una proteobacteria Gram-negativa patógena y oportunista en forma de bastón que pueden vivir en el agua, suelo, plantas y de importancia para humanos y animales (Podschun *et al.*, 2001). A pesar del impacto en la salud; sin embargo, en las plantas, diferentes cepas de *K. pneumoniae* son capaces de vivir como endófitos lo que aumenta el crecimiento de la planta en condiciones agrícolas por su capacidad de fijar nitrógeno encontrándose en cultivos de papa, arroz, maíz, caña, piña, plátano (Iniguez *et al.*, 2004; Ando *et al.*, 2006).

Enterobacter cloacae fue la segunda clona más abundante aislada de la composta de cuyinaza. Son bacterias Gram negativas anaerobias facultativas que se encuentran ampliamente en la naturaleza, son saprófitas en el medio ambiente encontrándose en el suelo y las aguas residuales, también forman parte de la flora entérica comensal del tracto gastrointestinal humano y de los animales. En las últimas décadas han adquirido importancia clínica patógenos nosocomiales en miles de casos, pero también ha sido



ampliamente utilizada en modelos de control biológico contra diversos hongos y bacterias que afectan semillas y raíces de plantas productivas (Mezzatesta *et al.*, 2012).

La mayor diversidad en la composta de cuyinaza se encontró un grupo heterogéneo de bacterias Gram positivas que constituyó el 3.62 % del total de las bacterias mesófilas aisladas, todas las especies de este grupo fueron identificadas dentro del género *Bacillus*. Este es un grupo extremadamente diverso de bacterias dentro del filo Firmicutes que abarca especies con un impacto generalizado en la vida humana, contiene 293 especies que pueden variar de ser extremadamente patógenas a microbios importantes utilizados en la agricultura y en la producción industrial de varios antibióticos y enzimas importantes (Patel & Gupta, 2020; Dunlap, 2019). *B. subtilis*, la especie tipo de este género, es uno de los organismos procariontes más antiguos y mejor estudiados que se utiliza como organismo modelo para bacterias Gram positivas y es ampliamente estudiado en el pasado para comprender la formación de esporas (Nogi *et al.*, 2005). Sin embargo, a pesar de la extensa investigación disponible sobre especies individuales de *Bacillus*, la historia filogenética y evolutiva general de este género sigue muy confusa y poco conocida (Patel & Gupta, 2020).

La mayoría de las especies de *Bacillus* Gram positivas, formadoras de endosporas, aeróbicas o anaerobias facultativas, que se aíslan principalmente del suelo o del agua, alimentos y muestras clínicas. Esta definición no describe el género en su conjunto, ya que las especies de *Bacillus* muestran una amplia gama de propiedades fenotípicas y no hay características, fenotípicas o moleculares, que sean exclusivas de todas las especies de *Bacillus*. Por ejemplo, las especies de *Bacillus* pueden ser bastones o cocos, móviles o no móviles, aeróbicos, anaeróbicos o facultativamente anaeróbicos, y algunas especies ni siquiera forman endosporas (Ash *et al.*, 1991). La extrema heterogeneidad y polifilia de las especies de *Bacillus* son principalmente el resultado de criterios sueltos utilizados en el pasado para asignar diversas especies que son capaces de formar esporas en presencia de oxígeno a este género. Tales criterios vagos permitieron la asignación de numerosas especies al género *Bacillus* cuyas propiedades fenotípicas y bioquímicas generales no se alinearon con la especie tipo, *B. subtilis*. En consecuencia, los miembros del género *Bacillus* exhiben actualmente una gran diversidad filogenética y fenotípica, y numerosas especies que forman parte de este género, no están relacionadas con la especie tipo ya que no comparten una historia evolutiva común.

B. cereus es un bacilo Gram positivo formador de esporas más hidrófoba que las esporas de cualquier otro *Bacillus*, habita en el suelo, ambientes marinos, vegetales, el tracto intestinal de invertebrados y piel humana; sin embargo, el mayor interés se centra en intoxicaciones alimentarias relacionadas por consumo de productos alimenticios precocinados y refrigerados de vida útil prolongada que favorecen la supervivencia y el crecimiento de *B. cereus* (Aravind *et al.*, 2009). Estas enfermedades transmitidas por



alimentos son subdiagnosticadas debido a que los síntomas son leves, de corta duración y que son causados por diferentes toxinas, una toxina emética y enterotoxinas ([Lindbäck & Granum, 2019](#)). Se ha utilizado para control biológico por producir compuestos fungicidas y bactericidas ([Jacobsen et al., 2004](#)).

B. pumilus, *B. megaterium* y *B. altitudinis* poseen un amplio rango de características importantes desde un punto de vista biotecnológico e industrial, se encuentran en ambientes muy diversos como agua de mar ([Halder et al., 2017](#)), aguas profundas de lagos, a grandes altitudes sedimentos, arrozales, alimentos secos, miel, leche y en tejidos vegetales como endófitos ([Shafi et al., 2017](#)). También participa en el proceso de putrefacción para frutas de manzana y pera ([Elbanna et al., 2014](#)). En la agricultura se han usado para promover el crecimiento de las plantas y la supresión de hongos y de control biológico contra patógenos de plantas principalmente hongos fitopatógenos ([Sunar et al., 2015](#)). En términos evolutivos, *B. megaterium* es un miembro clave del género *Bacillus*, que forma una rama filogenética profundamente arraigada que es genéticamente y fenotípicamente distinto del *B. subtilis* y *B. cereus* ([Eppinger et al., 2011](#)).

B. aerophilus, *B. aryabhatai* y *B. stratosphericus* fueron aisladas en tubos criogénicos utilizados para recoger muestras de aire a una altitud de hasta 41 km ([Shivaji et al., 2006](#)) pero también han sido aisladas de muestras de suelo ([Van-Thuoc et al., 2012](#)) y se han encontrado en diversos entornos como el azúcar, suelo de plantaciones de caña y arroz ([Pailan et al., 2015](#)).

CONCLUSIONES

El proceso de composteado de cuyinaza permite el desarrollo y mantenimiento de bacterias mesófilas aerobias oportunistas y ambientales donde *K. pneumoniae* es la clona predominante. Más allá de la importancia en salud pública y salud veterinaria, la mayor parte de los microorganismos aislados tienen potencial para uso en biorremediación y biocontrol en el sector agropecuario.

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento brindado por el programa de Fortalecimiento a la Investigación a través del Impulso a Conclusión de Proyectos de Investigación con Financiamiento Externo de la Universidad Autónoma de Nayarit 2018, y al Programa Integral de Fortalecimiento Institucional (PIFI) para Cuerpos Académicos 2016-2018 de la Secretaría de Educación Pública de México.



REFERENCIAS

- ABDEL-MOHSEIN HS, Sasaki T, Tada C, Nakai Y. 2011. Characterization and partial purification of a bacteriocin-like substance produced by thermophilic *Bacillus licheniformis* H1 isolated from cow manure compost. *Anim Sci J.* 82:340-51.
<https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2010.00835.x>
- AGUIRRE-López EW. 2017. Producción de biofertilizante mediante fermentación de la cuyinaza por bacterias del género *Lactobacillus* aisladas del fermento de la chicha de la cebada. Tesis de grado. Universidad Católica Sedes Sapientiae. Perú.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSS_fb4baeed26d56c28fa8db85cf0d4fbf
- ANDO S, Goto M, Meunchang S, Thongra-AR P, Fujiwara T, Hayashi H, Yoneyama T. 2006. Detection of *nifH* sequences in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) and pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.). *Soil Science & Plant Nutrition.* 51:303-308.
<https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2005.tb00034.x>
- ARAGADVAY-Yungán RG. 2013. Efecto de la aplicación de diferentes niveles de bacterias *Rhizobium meliloti* con la adición de estiércol de cuy en la producción forrajera del *Medicago Sativa* (Alfalfa). Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/0ea2bba1-22bf-47c6-b1c8-40f03c1051fb>
- ARAVIND R, Kumar A, Eapen SJ, Ramana KV. 2009. Endophytic bacterial flora in root and stem tissues of black pepper (*Piper nigrum* L.) genotype: isolation, identification and evaluation against *Phytophthora capsici*. *Lett Appl Microbiol.* 48:58-64.
<https://doi.org/10.1111/j.1472-765x.2008.02486.x>
- ASH C, Farrow J, Wallbanks S, Collins M. 1991. Phylogenetic heterogeneity of the genus *Bacillus* revealed by comparative analysis of small-subunit-ribosomal RNA sequences. *Lett Appl Microbiol.* 13:202-206. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.1991.tb00608.x>
- BAUTISTA-TRUJILLO GU, Solorio-Rivera JL, Renteria-Solorzano I, Carranza-German SI, Bustos-Martinez JA, Arteaga-Garibay RI, Baizabal-Aguirre VM, Cajero-Juarez M, Bravo-Patino A, Valdez-Alarcon JJ. 2013. Performance of culture media for the isolation and identification of *Staphylococcus aureus* from bovine mastitis. *J Med Microbiol.* 62:369-376. <https://doi.org/10.1099/jmm.0.046284-0>
- DUNLAP CA. 2019. Taxonomy of registered *Bacillus* spp. strains used as plant pathogen antagonists. *Biological Control.* 134:82-86.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.04.011>
- ELBANNA K, Elnaggar S, Bakeer A. 2014. Characterization of *Bacillus altitudinis* as a new causative agent of bacterial Soft Rot. *Journal of Phytopathology.* 162:712-722.
<https://doi.org/10.1111/jph.12250>



EPPINGER M, Bunk B, Johns MA, Edirisinghe JN, Kutumbaka KK, Koenig SSK, Creasy HH, Rosovitz MJ, Riley DR, Daugherty S, Martin M, Elbourne LDH, Paulsen I, Biedendieck R, Braun C, Grayburn S, Dhingra S, Lukyanchuk V, Ball B, UL-Qamar R, Seibel J, Bremer E, Jahn D, Ravel J, Vary PS. 2011. Genome sequences of the biotechnologically important *Bacillus megaterium* strains QM B1551 and DSM319. *Journal of Bacteriology*. 193:4199-4213. <https://doi.org/10.1128/jb.00449-11>

GAUTAM A. 2022. DNA and RNA Isolation Techniques for Non-Experts. Springer International Publishing. Switzerland. ISBN: 9783030942298.

https://catalog.nlm.nih.gov/discovery/fulldisplay?docid=alma9918697853506676&context=L&vid=01NLM_INST:01NLM_INST&lang=en&adaptor=Local%20Search%20Engine&ab=LibraryCatalog&query=lds56,contains,DNA%20--%20isolation%20%26%20purification,AND&mode=advanced&offset=0

GILL C, Van de Wijgert JH, Blow F, Darby AC. 2016. Evaluation of lysis methods for the extraction of bacterial DNA for analysis of the vaginal microbiota. *PloS One*. 11(9), e0163148. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163148>

GREEN Michael R, Sambrook Joseph. 2001. Molecular cloning: a laboratory manual, Cold Spring Harbor Laboratory Cold Spring Harbor, New York. USA. ISBN: 9781936113415.

https://catalog.nlm.nih.gov/discovery/fulldisplay/alma9915882953406676/01NLM_INST:01NLM_INST

HALDER U, Banerjee A, Chaudhry V, Varshney R, Mantri S, Bandopadhyay R. 2017. Draft genome report of *Bacillus altitudinis* SORB11, isolated from the Indian sector of the Southern Ocean. *Genome Announc*. 5(23): e00339-17.

<https://doi.org/10.1128/genomea.00339-17>

HILDEBRAND F, Ebersbach T, Nielsen HB, Li X, Sonne SB, Bertalan M, Dimitrov P, Madsen L, Qin J, Wang J, Raes J, Kristiansen K, Licht TR. 2012. A comparative analysis of the intestinal metagenomes present in guinea pigs (*Cavia porcellus*) and humans (*Homo sapiens*). *BMC Genomics*. 13:514. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-514>

INIGUEZ AL, Dong Y, Triplett EW. 2004. Nitrogen fixation in wheat provided by *Klebsiella pneumoniae* 342. *Mol Plant Microbe Interact*. 17(10):1078-1085.

<https://doi.org/10.1094/mpmi.2004.17.10.1078>

JACOBSEN BJ, Zidack NK, Larson BJ. 2004. The role of bacillus-based biological control agents in integrated pest management systems: plant diseases. *Phytopathology*. 94:1272-1275. <https://doi.org/10.1094/phyto.2004.94.11.1272>

KAKIMOTO T, Osawa T, Funamizu N. 2007. Antibiotic effect of amoxicillin on the feces composting process and reactivation of bacteria by intermittent feeding of feces. *Bioresour Technol*. 98(18):3555-3560. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.11.029>



KUMAR S, Stecher G, Tamura K. 2016. MEGA7: mMolecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for Bigger Datasets. *Mol Biol Evol.* 33(7):1870-1874.

<https://doi.org/10.1093/molbev/msw054>

LEE DH, Zo YG, Kim SJ. 1996. Nonradioactive method to study genetic profiles of natural bacterial communities by PCR-single-strand-conformation polymorphism. *Applied and Environmental Microbiology.* 62(9):3112-3120. <https://doi.org/10.1128/aem.62.9.3112-3120.1996>

LINDBÄCK T, Granum PE. 2019. *Bacillus cereus*. In: Michael P. Doyle, Francisco Diez-Gonzalez, Colin Hill. (ed.) *Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers*. 5th Edition. ISBN: 9781555819965. <https://doi.org/10.1128/9781555819972.ch20>

LUQUE J, Herráez A. 2001. Biología molecular e ingeniería genética: Conceptos, técnicas y aplicaciones en ciencias de la salud. Galería de imágenes.

<https://catedrabiologiamolecularusal.wordpress.com/wp-content/uploads/2020/03/biologia-molecular.pdf>

MEZZATESTA ML, Gona F, Stefani S. 2012. Enterobacter cloacae complex: clinical impact and emerging antibiotic resistance. *Future microbiology.* 7(7):887-902.

<https://doi.org/10.2217/fmb.12.61>

NOGI Y, Takami H, Horikoshi K. 2005. Characterization of alkaliphilic *Bacillus* strains used in industry: proposal of five novel species. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.* 55(6):2309-2315. <https://doi.org/10.1099/ijms.0.63649-0>

OLIVEIRA M, VI I, Usall J, Anguera M, Abadias M. 2012. Presence and survival of *Escherichia coli* O157: H7 on lettuce leaves and in soil treated with contaminated compost and irrigation water. *Int J Food Microbiol.* 156(2):133-140.

<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.03.014>

PAILAN S, Gupta D, Apte S, Krishnamurthi S, Saha P. 2015. Degradation of organophosphate insecticide by a novel *Bacillus aryabhatai* strain SanPS1, isolated from soil of agricultural field in Burdwan, West Bengal, India. *International Biodeterioration & Biodegradation.* 103:191-195. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.05.006>

PATEL S, Gupta RS. 2020. A phylogenomic and comparative genomic framework for resolving the polyphyly of the genus *Bacillus*: Proposal for six new genera of *Bacillus species*, *Peribacillus* gen. nov., *Cytobacillus* gen. nov., *Mesobacillus* gen. nov., *Neobacillus* gen. nov., *Metabacillus* gen. nov. and *Alkalihalobacillus* gen. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology.* 70(1):406-438. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.003775>

PODSCHUN R, Pietsch S, Holler C, Ullmann U. 2001. Incidence of *Klebsiella* species in surface waters and their expression of virulence factors. *Appl Environ Microbiol.* 67(7):3325-3327. <https://doi.org/10.1128/aem.67.7.3325-3327.2001>



RIBER L, Poulsen PH, Al-Soud WA, Skov Hansen LB, Bergmark L, Brejnrod A, Norman A, Hansen LH, Magid J, Sorensen SJ. 2014. Exploring the immediate and long-term impact on bacterial communities in soil amended with animal and urban organic waste fertilizers using pyrosequencing and screening for horizontal transfer of antibiotic resistance. *FEMS Microbiol Ecol.* 90(1):206-224. <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12403>

ROY Chowdhury P, Mckinnon J, Wyrsh E, Hammond JM, Charles IG, Djordjevic SP. 2014. Genomic interplay in bacterial communities: implications for growth promoting practices in animal husbandry. *Front Microbiol.* 5:e00394. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00394>

SALGADO-MORENO S, Hernández-Moreno S, Martínez-Orozco S, Chamé-Vázquez E, Borrayo-González J, Ibarra-Gudiño C, Martínez-González S. 2022. Identificación del escarabajo *Alphitobius diaperinus* en la cama de explotaciones de Cuyes (*Cavia porcellus*). *Abanico Agroforestal.* 4:e2022-1. <http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/2022.6>

SÁNCHEZ-Macías D, Barba-Maggi L, Morales-Delanuez A, Palmay-Paredes J. 2018. Guinea pig for meat production: A systematic review of factors affecting the production, carcass and meat quality. *Meat Sci.* 143:165-176. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.05.004>

SAS PE. 2000. The SAS system. *SAS/STAT User's guide version 8*, 3884. ISBN: 1-58025-494-2. <https://www.sfu.ca/sasdoc/sashtml/hrddoc/indfiles/57388.htm>

SHAFI S, Kamili AN, Shah MA, Bandh SA, Dar R. 2017. Dynamics of bacterial class Bacilli in the deepest valley lake of Kashmir-the Manasbal Lake. *Microbial pathogenesis.* 104:78-83. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.01.018>

SHIVAJI S, Chaturvedi P, Suresh K, Reddy GSN, Dutt CBS, Wainwright M, Narlikar JV, Bhargava PM. 2006. *Bacillus aerius* sp. nov., *Bacillus aerophilus* sp. nov., *Bacillus stratosphericus* sp. nov. and *Bacillus altitudinis* sp. nov., isolated from cryogenic tubes used for collecting air samples from high altitudes. *Int J Syst Evol Microbiol.* 56(7):1465-1473. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.64029-0>

SUNAR K, Dey P, Chakraborty U, Chakraborty B. 2015. Biocontrol efficacy and plant growth promoting activity of *Bacillus altitudinis* isolated from Darjeeling hills, India. *Journal of basic microbiology.* 55(1):91-104. <https://doi.org/10.1002/jobm.201300227>

TAKAHASHI T, Karita S, Yahaya MS, Goto M. 2005. Radial and axial variations of bacteria within the cecum and proximal colon of Guinea Pigs revealed by PCR–DGGE. *Biosci Biotechnol Biochem.* 69(9):1790-1792. <https://doi.org/10.1271/bbb.69.1790>

UMSAKUL K, Dissara Y, Srimuang N. 2010. Chemical, physical and microbiological changes during composting of the water hyacinth. *Pakistan Journal of Biological Sciences.* 13(20):985-992. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2010.985.992>



VAN-THUOC D, Huu-Phong T, Thi-Binh N, Thi-Tho N, Minh-Lam D, Quillaguamán J. 2012. Polyester production by halophilic and halotolerant bacterial strains obtained from mangrove soil samples located in Northern Vietnam. *Microbiology Open*. 1(4):395-406. <https://doi.org/10.1002/mbo3.44>

WINN WC, Allen SD, Janda WM, Koneman EW, Procop GW, Schrenckenberger PC, Woods GL. 2013. *Koneman. Diagnóstico microbiológico. Texto y Atlas en color*, México, D.F., Editorial Medica Panamericana. México. ISBN: 978-950-06-0895-4. <https://books.google.com.mx/books?id=jyVQueKro88C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

XICOHTENCATL-SÁNCHEZ PG, Barrera-Zúñiga S, Orozco-Orozco T, Torres-Sandoval SFM, Monsivais-Isiordia R. 2013. Parámetros productivos de cuyes (*Cavia porcellus*) del nacimiento al sacrificio en Nayarit, México. *Abanico Veterinario*. 3(1):36-43. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7390216>

YI J, Wu HY, Wu J, Deng CY, Zheng R, Chao Z. 2012. Molecular phylogenetic diversity of *Bacillus* community and its temporal-spatial distribution during the swine manure of composting. *Appl Microbiol Biotechnol*. 93:411-421. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3425-x>

[Errata, Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-agroforestal/errata>



Abanico Agroforestal. Enero-Diciembre 2025; 7:1-11. <http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/2025.4>
Nota de investigación. Recibido: 13/11/2024. Aceptado: 26/08/2025. Publicado: 29/08/2025. Clave: e2025-1
<https://www.youtube.com/watch?v=xipAgyqEN2g>

Reproducción de plántulas de orégano (*Lippia palmeri* S. Watson) en almácigo

Reproduction of oregano seedlings (*Lippia palmeri* S. Watson) in almácigo



Diana McCaughey-Espinoza^{*,**1ID}, Hernán Celaya-Michel^{2ID}, Ángel Ceballos-Chávez^{3ID}, Rafael Retes-López^{2ID}, Karla Rodríguez-Briseño^{1ID}

¹Universidad de Sonora, Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Avenida Luis Donaldo Colosio s/n Edificio 7G, Centro, 83000 Hermosillo, Sonora, México. ²Universidad de Sonora, Salud Departamento de Agricultura y Ganadería, Carretera 100 a Bahía de Kino Km 21.5, 8300 Hermosillo, Sonora, México. ³Universidad Tecnológica de la Babácora, Departamento de Agricultura Sustentable y Protegida, Km 1 Carretera Soto Máynez- Gómez Farías, 31963 Namiquipa, Chihuahua, México. *Autor responsable y **Autor de correspondencia: Mc Caughey-Espinoza Diana. Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Avenida Luis Donaldo Colosio s/n Edificio 7G, Centro, 83000 Hermosillo, Sonora, México. E-mail: diana.mccaughey@unison.mx, hernan.celaya@unison.mx, angel.cebillos.chavez@gmail.com, rafael.retes@unison.mx, karlarodriguezb269@gmail.mx

RESUMEN

Se tiene una carencia en cuanto a la comercialización de semillas de plantas nativas, sobre todo de especies que presentan bajos rendimientos en la producción a nivel silvestre. Estas a su vez, muestran problemas de germinación por la manipulación, así como, factores internos de la semilla y externos como condiciones ambientales, cambio climático, deforestaciones, etc., lo que ha generado la baja producción de nuevos ejemplares en plantas nativas en el estado de Sonora. El objetivo del presente trabajo fue producir plántulas de orégano (*Lippia palmeri* W.) en almácigo, para ellos se utilizó la espiga. En cuanto a los resultados obtenidos, se obtuvo un 80.0 a 83.3% de germinación. No se presentaron diferencias significativas según el análisis estadístico, el porcentaje de plántulas normales fue de 78.0 a 81.3%, en plántulas anormales fue de 2 a 2.7%, y en semillas no germinadas de 16.7 a 20%. Los días a emergencia para las semillas de orégano en almácigo oscilaron entre 10 y 11 días. En lo que respecta a la sobrevivencia al trasplante, se presentó un 97% en charolas y en campo un 95.3%. Es importante señalar que la producción de plántulas de orégano en almácigo es idónea para este tipo de semillas.

Palabras clave: producción, planta nativa, aromática, medicinal, forrajera.

ABSTRACT

There is a lack of commercialization of native plant seeds, especially those of species that have low yields in the wild. These, in turn, exhibit germination problems due to manipulation, as well as internal factors of the seed and external factors such as environmental conditions, climate change, deforestation, etc., which has led to low production of new specimens of native plants in the state of Sonora. The objective of this study was to produce oregano (*Lippia palmeri* W.) seedlings in seedbeds using the spike. Regarding the results obtained, germination rates ranged from 80.0 to 83.3%. No significant differences were found according to statistical analysis: the percentage of normal seedlings ranged from 78.0 to 81.3%, the percentage of abnormal seedlings ranged from 2 to 2.7%, and in non-germinated seeds from 16.7 to 20%. The days to emergence for oregano seeds in seedbeds ranged from 10 to 11 days. With respect to survival after transplant, 97% was presented in trays and 95.3% in the field. It is important to note that the production of oregano seedlings in seedbeds is suitable for this type of seeds.



percentage of abnormal seedlings ranged from 2 to 2.7%, and the percentage of non-germinated seeds ranged from 16.7 to 20%. Days to emergence for oregano seeds in seedbeds ranged from 10 to 11 days. Transplant survival was 97% in trays and 95.3% in the field. It's important to note that oregano seedling production in seedbeds is ideal for this type of seed.

Keywords: production, native, aromatic, medicinal, forage plant.

INTRODUCCIÓN

Las poblaciones naturales de orégano del norte del país se localizan en zonas áridas y semiáridas, donde también se aprovechan otros recursos no maderables de importancia comercial, como la lechuguilla (*Agave lechuguilla*) y candelilla (*Euphorbia antisiphylitica*) que, en conjunto, aportan 32% de la producción forestal no maderable a escala nacional. En México existen diversas especies de orégano, tales como *Lippia berlandieri*. *Lippia graveolens* es la más importante por la magnitud del potencial existente y por los volúmenes que de ésta se comercializan, y sin menospreciar a *Lippia palmeri* que se localiza en Sonora, Baja California y Sinaloa (Calvo *et al.*, 2009).

El orégano es considerado como una planta versátil por ser una alternativa como cultivo en áreas semi-desérticas del noroeste de México, y por presentar un potencial para su explotación a nivel cultivo (Borboa-Flores *et al.*, 2016). Para la propagación de esta planta, se tiene el problema de la recolección de semillas, ya que la producción de estas depende por lo regular de la época de lluvias. Por lo que, el alto consumo de animales herbívoros y las altas temperaturas, además de otros factores ambientales, someten a las plantas a un estrés continuo. Existen diferentes métodos pregerminativos de acuerdo con la gran diversidad de semillas existentes, ya sean de importancia agroalimentaria, medicinal, floricultura y/o forestal. Así como, también presentan diferente variación en cuanto su tamaño, peso y forma; debido a esta variación algunas semillas pueden ser de sencilla manipulación para investigadores y productores. En el caso de las semillas de orégano (*Lippia palmeri* W.), existen problemas en cuanto a su manejo al ser una semilla frágil y pequeña con un tamaño aproximado de 0.25 mm. Además, de que al momento de retirarla de la capsula tiende a dividirse en dos partes, lo que daña a la semilla y limita su germinación y, por consiguiente, la obtención de plántulas. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue producir plántulas de orégano (*Lippia palmeri*) por medio de almácigos. Este tipo de técnica podría ayudar en el aprovechamiento y conservación del orégano al establecer cultivos en áreas idóneas dentro del estado de Sonora, y que estas a su vez sean una fuente económica para el sector agrícola de pequeños o medianos productores e incluyendo a grupos de etnias como los Conca'ac, Mayos y Mayos-Yoremes en Sonora y Sinaloa.

MATERIAL Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

El presente trabajo se desarrolló en el vivero del Campo Agrícola Experimental del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora (Figura 1), ubicado en 29°00'48" Latitud N, 111°08'07" Longitud O y 151 msnm y una temperatura promedio de 23°C. Las espigas fueron recolectadas en el Rancho Toyos ubicado en el municipio de Hermosillo (Figura 2 y 3), el cual se ubica en las siguientes coordenadas 29°52'41.37" Norte y 110°02'53.28" Oeste, con una altura de 640 msnm.

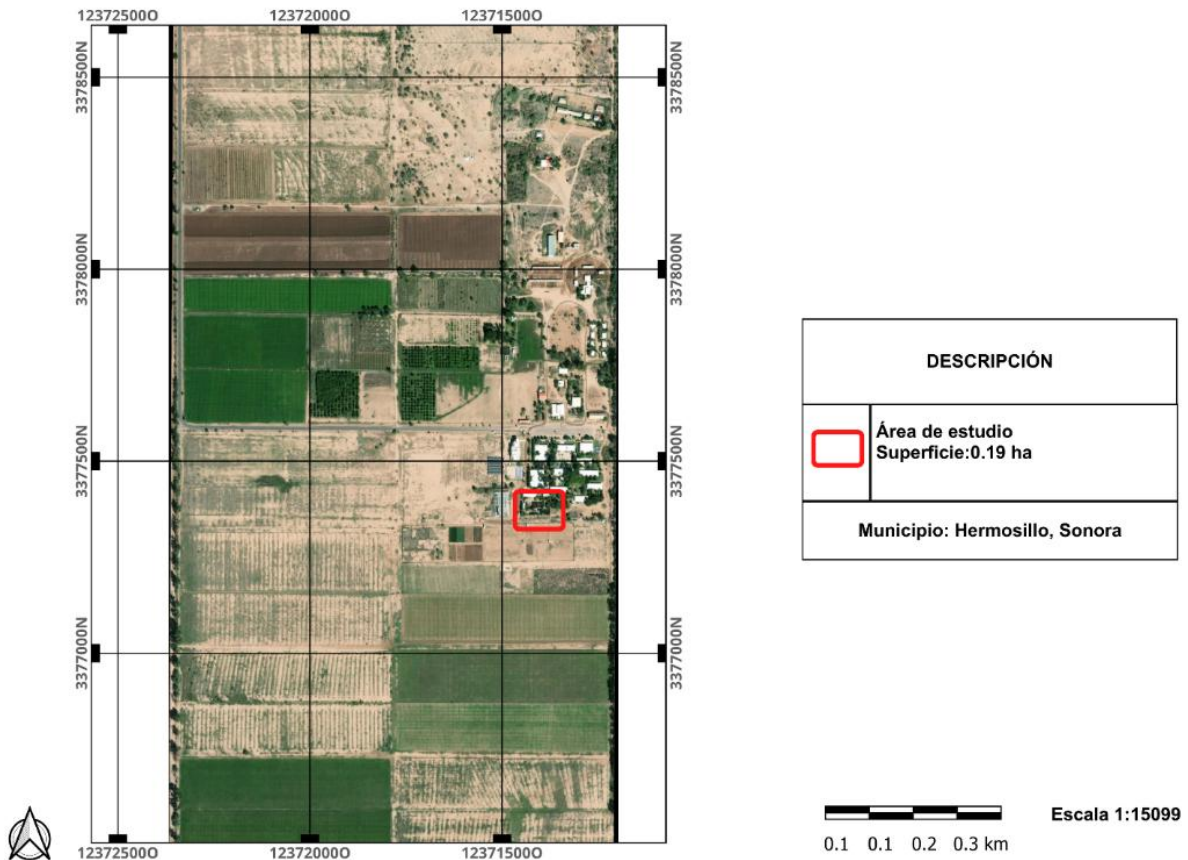


Figura 1. Ubicación del sitio de cultivo



Figura 2. Sitio de colecta de espigas de orégano (*Lippia palmeri*) Rancho Toyos

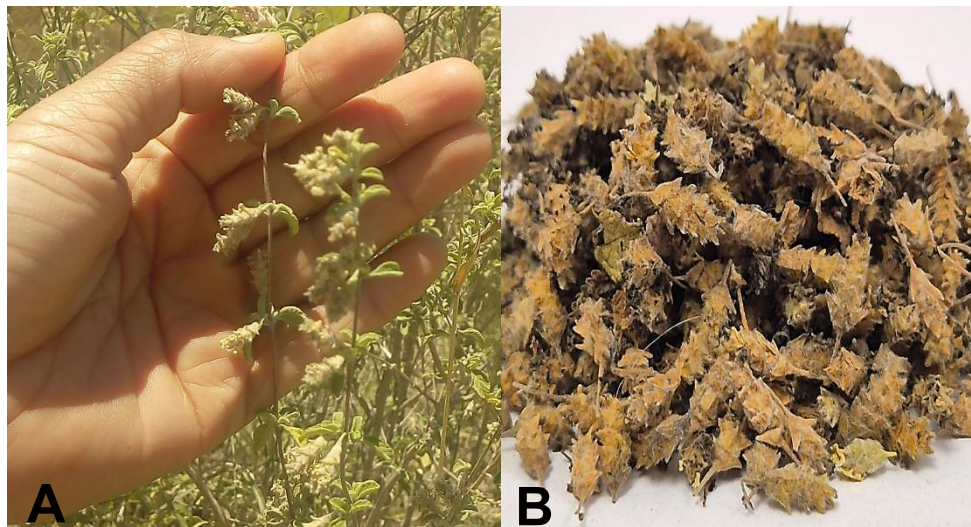


Figura 3. Colecta de espigas de *L. palmeri* en campo: a) Recolección del material; b) Espigas

Colecta del material vegetal y almacenamiento

Se realizó la recolección de las espigas de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (NOM, 2010). Las espigas se resguardaron en el banco de germoplasma forestal de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) Gerencia Regional de Hermosillo, las condiciones de temperatura fueron de 24° C y la humedad relativa fue de 70-85%.



Siembra en almácigo y riegos

Se utilizaron charolas planas y como sustrato peat moss, la siembra fue al boleto utilizándose 50 espigas por charola (3 charolas), se consideró que cada espiga trae de 3 a 4 semillas, se contabilizó en promedio 3 semillas por espiga. Además, se aplicaron dos riegos al día con intervalos de 8 horas cada uno.

Trasplante a charolas

Tres días después de su germinación se retiraron las plántulas de los almácigos y se trasplantaron en charolas con 120 cavidades, y como sustrato peat moss, para asegurar su desarrollo individual. Las plántulas permanecieron en las charolas hasta lograr una altura de 10 cm y posteriormente ser trasplantadas a tierra.

Variables evaluadas

% de germinación (PG): Para evaluar el porcentaje de germinación (1) se realizó de acuerdo con la Asociación Internacional de Ensayos de Semillas (ISTA, 2025), se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Germinación (PG)} = \frac{\text{Número de semillas germinadas}}{\text{Número total de semillas}} (100) \quad (1)$$

También se consideró la evaluación del % de plántulas normales (2), anormales (3) y semillas no germinadas (4).

$$\begin{aligned} \text{Porcentaje de plantulas normales (\%PN)} & \quad (2) \\ & = \frac{\text{Número de plantulas normales}}{\text{Número total de semillas germinadas}} (100) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Porcentaje de plantulas anormales (\%PA)} & \quad (3) \\ & = \frac{\text{Número de plantulas anormales}}{\text{Número total de semillas germinadas}} (100) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Porcentaje de semillas no germinadas (\%SNG)} & \quad (4) \\ & = \frac{\text{Número de semillas no germinadas}}{\text{Número total de semillas}} (100) \end{aligned}$$

Días de emergencia: Se llevó cabo con el conteo de las plántulas desde que inició su proceso de germinación hasta que concluyó de acuerdo a [Ramírez-Santiago et al. \(2020\)](#).



Sobrevivencia al trasplante: Se determinó de acuerdo a [Mc Caughey-Espinoza et al. \(2023\)](#), para ello se evaluó la sobrevivencia al trasplante en charola a los 10 días y en condiciones de campo a los 30 días después.

Análisis estadístico

Se llevó a cabo un diseño aleatorizado con un tratamiento, una profundidad de siembra con tres repeticiones. Con los datos obtenidos se efectuó un análisis de varianza (ANDEVA) con un nivel de significancia de $P < 0.05$, para observar si existen diferencias significativas se empleó la prueba de media de Tukey-Kramer con un alfa de 0.1%. Estos análisis se llevaron a cabo con el uso del paquete estadístico JMP versión 17.0 ([JMP Statistical Discovery LLC. 2022](#)).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El porcentaje de germinación en el almacigo 1 presentó un 83.3%, seguido de este el almacigo 3 con un 82.7% y por último el almacigo 2 con un 80.0%. Esto indica que se obtuvieron porcentajes de germinación aceptables sin retirar la capsula de las semillas, y de acuerdo al análisis estadístico no se mostraron diferencias significativas entre los almacigos (Tabla 1).

Tabla 1.- Porcentaje de germinación de espigas de orégano en almacigo

Almacigo	% de Germinación	% de plántulas normales	% de plántulas anormales	% de semillas no germinadas
1	83.3 ± 0.0 a	81.3 ± 0.0 a	2.0 ± 0.0 a	16.7 ± 0.0 a
2	80.0 ± 0.0 a	78.0 ± 0.0 a	2.0 ± 0.0 a	20.0 ± 0.0 a
3	82.7 ± 0.0 a	80.0 ± 0.0 a	2.7 ± 0.0 a	17.3 ± 0.0 a

Literales diferentes, indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

El porcentaje de germinación obtenido difiere con lo obtenido por [Borboa et al. \(2016\)](#), quienes evaluaron el porcentaje de germinación de dos sitios silvestres (Puerto del Orégano y Santa Ana, Sonora), y utilizaron como promotores de la germinación al ácido giberélico (AG³) ellos obtuvieron que, al utilizar una concentración de 100 ppm en los tres tiempos de remojo, las semillas de Puerto del Orégano presentaron una germinación de 96.7%. Se debe considerar que la germinación en este estudio fue de 82.0%. Por lo tanto, se podría atribuir a que algunas cápsulas estuvieran vanas o no contaran con la cantidad de semillas usual, pero aun así en el presente trabajo de investigación, existe menos pérdida del material de germoplasma en el momento de su manipulación.

En cuanto al porcentaje de plántulas normales para cada uno de los almacigos, se tuvieron de 78.0 a 81.3% plántulas, mientras que, el porcentaje de plántulas anormales fue de 2.0 a 2.7%. Con respecto al porcentaje de semillas no germinadas, se presentaron

de 16.7 a 20.2% (Tabla 1). Cabe mencionar que, la presencia de plántulas anormales pudo deberse a que los cotiledones no lograron desprenderse de su testa, por falta de humedad en el medio ambiente o bien por la falta de vigor de los cotiledones para lograr expulsarla. Por ende, la presencia de la testa aprisiona a los cotiledones e impide realizar las funciones normales de fotosíntesis, lo que repercute también en la producción de sus primeras hojas verdaderas y el desarrollo normal que tienen la mayoría de las plantas, ver figura 4.



Figura 4. Germinación de semilla de orégano (*Lippia palmeri* W.) en almácigo

Cabe señalar que la producción de plántulas de orégano en almácigo mostró una germinación uniforme obteniéndose a su vez plántulas vigorosas. De acuerdo a dichos resultados son congruentes con lo mencionado por [Martínez-Hernández et al., \(2017\)](#). Quien menciona que la respuesta del crecimiento de plántulas de orégano tiene que ver con el tipo de sustrato y contenedor a utilizar. Así mismo permitirá asegurar el buen desarrollo, crecimiento y a su vez elevar la tasa de sobrevivencia al trasplante en campo.

Días de emergencia

En lo que respecta a los días de emergencia de las semillas dentro de las espigas, se obtuvo un alto número de semillas de orégano que emergieron entre los 10 y 11 días, en los tres almácigos. [Barone et al. \(2016\)](#) mencionan que se considera una semilla germinada cuando esta presenta una longitud radicular de 1 a 2 mm. por lo que en esta investigación se consideraron germinadas las semillas que presentaron una longitud radicular de 2 mm presentándose a los 7 días después de su siembra (dds). Cabe señalar que la cofia es un orgánulo importante, es el primero que hace contacto con el exterior y protege a la raíz.

La semilla de orégano presenta una testa impermeable, por lo que favorece a la germinación, siempre y cuando estén las condiciones propicias para hacerlo, En las áreas naturales donde se localizan plantas de orégano se ha observado que las plantas no pueden perpetuar su especie por las bajas o nulas precipitaciones aunado que la

colecta de orégano es en la misma época cuando esta inicia su floración. Cabe señalar que la semilla de orégano por su tamaño tiene pocas reservas, pero su tamaño no es un impedimento para su germinación. En la figura 5 se muestran las etapas de germinación de las semillas de orégano y el tiempo de este.

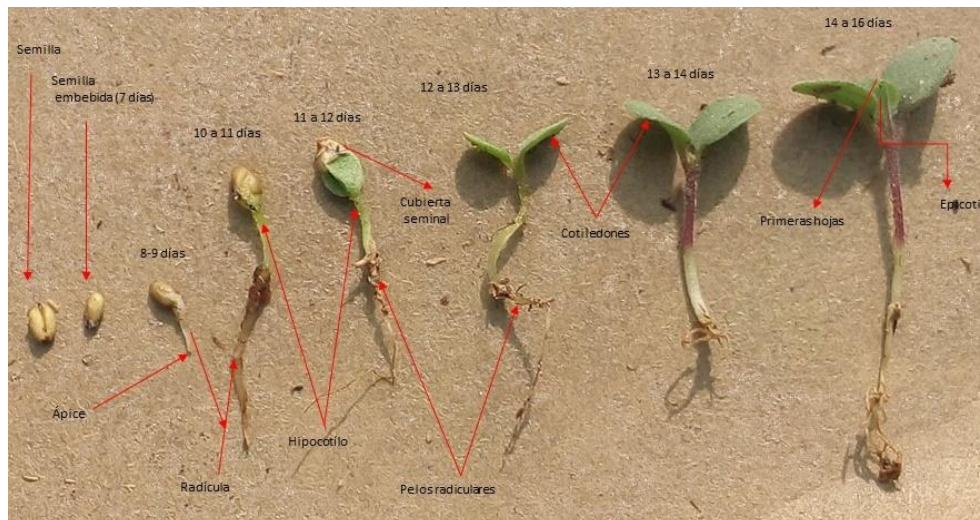


Figura 5. Etapas de germinación de las semillas de orégano (*Lippia palmeri* W.) hasta sus primeras hojas verdaderas

La germinación se presentó a 10 y 11 días, se observó que el sustrato utilizado fue el adecuado para no afectar el intercambio gaseoso. Según [Handreck & Black \(2002\)](#), la porosidad total del sustrato afecta la capacidad de intercambio gaseoso del medio, esto propicia la disminución del contenido de oxígeno que las semillas requieren para germinar, lo que interfiere con la emergencia.

Por lo tanto, se puede señalar que la latencia presente en las semillas de orégano se rompe automáticamente con la presencia de humedad y temperatura, elementos fundamentales para lograr una germinación aceptable en almácigo, al utilizar las cápsulas de orégano y sin tratamiento pregerminativo. Por lo que se podría utilizar también este método, en otras semillas con características y tamaño similar a las del orégano. De acuerdo a lo observado las semillas de orégano pudieran no presentar inhibidores que interfieran o frenen la germinación, por lo tanto, a la producción de plántulas. Dichos resultados son similares a los obtenidos por [Rodríguez \(2014\)](#), quien presentó una germinación a los 11 y 13 días en plantas de orégano (*Poliomintha longiflora* Gray). Por otra parte, los resultados de esta investigación concuerdan con los reportado por [Perozo-Bravo et al. \(2006\)](#), quien señala que la germinación puede llevarse a cabo en dos semanas en zonas cálidas, cuando las temperaturas se encuentran entre 25 - 30 °C.

Sobrevivencia al trasplante

Al evaluar la sobrevivencia al trasplante (Figura 6), se logró obtener hasta un 97.0%, dichos resultados son alentadores ya que se podrían asegurar tener una disponibilidad de plántulas, para realizar siembras intensivas no convencionales en áreas agrícolas y/o agostaderos en áreas idóneas. Mientras que, la sobrevivencia a suelo tuvo un porcentaje promedio del 95.3%, a los 30 días de su trasplante. Los resultados obtenidos en esta investigación señalan que esta planta es muy versátil por su rápida adaptabilidad. Por lo tanto, para el cultivo del orégano no se requiere hacer inversiones fuertes con respecto a la adquisición de agroquímicos, ya que es una planta solo requiere: agua y un buen manejo agronómico para producir.



Figura 6. Plántulas *Lippia palmeri* W. germinadas en almácigo y trasplantadas a charola

El orégano es una especie que puede ser una alternativa como cultivo en regiones con poca disponibilidad de agua. Al ser una especie nativa de regiones áridas o semiáridas, los requerimientos hídricos son menores (Villa-Castorena *et al.*, 2011). Es importante señalar que realizar siembras con semilla de orégano directamente en campo no se garantiza su germinación, porque la semilla tiene un tamaño pequeño y es muy vulnerable a quebrarse. Este problema se presenta a nivel silvestre al presentarse una baja en sus poblaciones y no propiciarse su autopropagación en forma natural.

CONCLUSIÓN

En esta investigación se pudo observar que al utilizar las espigas maduras directamente se evita la pérdida de semillas por el manejo mecánico, esto permite el incremento de la tasa de germinación arriba del 80%; y de acuerdo al tipo de semilla de *Lippia palmeri* no se requiere tratamientos pregerminativos (químicos, físicos o mecánicos) para promover la germinación. El rango de germinación con espiga oscila entre 10 a 11 días, muestra una adaptación al trasplante de plántulas arriba del 90% de sobrevivencia en campo. Se recomienda el método de producción de plantas de orégano en almácigo, de acuerdo a esta investigación, este, garantiza un número de plantas uniforme e incrementa la



efectividad en su manejo para la producción de plántulas y establecimiento de cultivos no convencionales.

LITERATURA CITADA

BARONE J, Duarte E, Luna C. 2016. Determinación de la eficacia de métodos de evaluación de calidad de semillas de especies forestales nativas de la Selva Atlántica. *Revista de Ciencias Forestales*. 24(2):70-80.

<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/51683>

BORBOA-Flores J, Ortega-Nieblas MM, Mc Caughey-Espinoza D, Robles-Burgueño M, Serna-Félix M, Cinco-Moroyoquie FJ, Wong-Corral FJ, Rueda-Puente EO. 2016. Características de la germinación de *Lippia palmeri* (Wats) proveniente de regiones silvestres del desierto de Altar, Sonora, México. *Idesia (Arica)*. 34(4):37-42.

<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016005000021>

CALVO Irabien LM, Pérez Quilantán LM, Martínez Domínguez MP. 2009. Paquete tecnológico para la producción de orégano (*Lippia spp.*). Transferencia y adopción de tecnología sobre la producción de orégano desde la plantación hasta el cribado y empaque del producto. CONAFOR. México.

<https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/OREGANO.pdf>

HANDRECK K, Black N. 2002. *Growing media for ornamental plants and turf*. 3 ed. UNSW Press. Australia. ISBN: 0868407968. Pp. 542.

<https://books.google.hn/books?id=d1v5pAmhYXEC&lpg=PP1&lr&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>

ISTA International Seed Testing Association. 2025. International Rules for Seed Testing. Seed Sciences & Technology. USA. <https://www.seedtest.org/en/international-rules-for-seed-testing-rubric-3.html>

JMP (Statistical Discovery LLC). 2022. *Discovering JMP® 17*. Cary, NC: JMP Statistical Discovery LLC. <https://www.jmp.com/es/software/data-analysis-software>

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-059-SEMARNAT-2010. 2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. México. <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm>



MARTÍNEZ-Hernández R, Villa-Castorena MM, Catalán-Valencia EA, Inzunza-Ibarra MA. 2017. Producción de plántula de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) por semilla en vivero para trasplante. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*. 23(1):61-73. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.11.051>

MC CAUGHEY-Espinoza Diana M, Reyes Olivás Álvaro, Ayala Astorga Gloria Irma, Lugo García Gabriel, Ochoa Mesa Andrés, Pacheco Olvera Antonio. 2023. Producción y aclimatación de plántulas *in vitro* de *Krameria erecta* Willd. *Idesia (Arica)*. 41(3): 25-33. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292023000300025>

PEROZO-Bravo A, Ramírez-Villalobos M, Gómez-Degraves Á, Buitrago-Rueda N. 2006. Germinación y caracterización morfológica de plántulas de merey (*Anacardium occidentale* L.) tipo Amarillo. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 23(1):17-27. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182006000100002

QUESADA-Roldán G, Méndez-Soto C. 2005. Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. *Rev. Agronomía Mesoamericana*. 16 (2): 171-183. 2005 ISSN: 1021-7444. <https://www.redalyc.org/pdf/437/43716207.pdf>

RAMÍREZ-Santiago D, De-La Cruz-Guzmán GH, Espitia-Rangel E, Sampayo-Maldonado S, Mandujano-Piña M, Arriaga-Frías A. 2020. Velocidad de germinación y temperaturas cardinales en *Chenopodium quinoa* Suyana y Tunkahuan. *Revista Bio Ciencias*. 7: 1-15, e880. <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e880>

RODRÍGUEZ-Salinas PA. 2014. Evaluación estacional de la producción y calidad del aceite esencial en plantas de orégano (*Poliomintha longiflora* gray) en dos sistemas de cultivo. Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de Agronomía. Tesis de Maestría. México. Pp. 27. <http://eprints.uanl.mx/4321/1/1080253680.pdf>

VILLA-Castorena M, Catalán-Valencia EA, Arreola-Ávil JG, Inzunza-Ibarra MA, Román-López A. 2011. Influencia de la frecuencia del riego en el crecimiento de orégano (*Lippia graveolens* HKB). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 17:183-193. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v17nspe/v17nspea16.pdf>

[Errata, Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-agroforestal/errata>



Abanico Agroforestal. Enero-Diciembre, 2025; 7:1-18. <http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/2025.6>
Revisión de Literatura. Recibido: 25/05/2025. Aceptado: 10/12/2025. Publicado: 15/12/2025. Clave: e2025-5
<https://www.youtube.com/watch?v=oh-BPmcUJg>

Presencia de plaguicidas e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), en aguas residuales en zonas rurales: revisión y métodos analíticos



Presence of pesticides and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in wastewater in rural areas: review and analytical methods

Rutilio Ortiz-Salinas^{1ID}, Susana Ramírez-Sánchez*^{2ID}, Hugo Flores-López^{2ID}, Anand Singh-Bisht^{3ID}



¹Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco, Calzada del Hueso 1100, Colonia Villa Quietud, Coyoacán, México, CP 04960. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México, CP 47600. ³University of Horticulture and Forestry Bharsar, VCSG Uttarakhand, Pauri Garhwal Uttarakhand, India. *Autor de correspondencia: Susana Ramírez-Sánchez. E-mail: guppyabanico@gmail.com, ramirez.susana@inifap.gob.mx, lopez.hugo@inifap.gob.mx, drbishtas@gmail.com

RESUMEN

Este documento revisa el estado del conocimiento (1990-2025) sobre contaminantes orgánicos persistentes (hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) y plaguicidas organoclorados, en aguas residuales y zonas rurales. Estos contaminantes son frecuentes en ambientes agrícolas por el uso de combustibles u agroquímicos para el control de plagas. La revisión aborda métodos analíticos, compuestos detectados y riesgos sanitarios. Aunque la diversidad metodológica genera variabilidad en las concentraciones reportadas, estas moléculas son invariablemente tóxicas para organismos vivos. La evidencia científica documenta sus efectos nocivos y su presencia en agua, relacionada con el desarrollo tecnológico rural.

Palabras clave: lagos, contaminantes, toxicidad, enfermedad.

ABSTRACT

This document review the state of knowledge (1990-2025) on persistent organic pollutants, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and organochlorine pesticides, in wastewater and rural areas. These contaminants are prevalent in agricultural environments due to fuel and agrochemical use for pest control. The review covers analytical methods, detected compounds, and health risk. Although methodological diversity generates variability in reported concentrations, these molecules are invariably toxic to living organisms. Scientific evidence documents their harmful effects and presence in water, correlated with rural technological development.

Keywords: lakes, pollutants, toxicity, disease.

INTRODUCCIÓN

Actualmente los recursos naturales sufren una mayor presión ambiental, a causa del aumento de la población humana a nivel global. En especial, la producción de alimentos en cantidad y calidad asociado con la disponibilidad del agua continental. Ésta es limitada



por la contaminación y degradación del suelo. El agua dulce es un recurso natural no renovable, donde un pequeño porcentaje es útil para el consumo humano en forma directa (ríos, lagos, aguas subterráneas) e indirecta (nubes). Por lo tanto, es un recurso que enfrenta una grave situación de disponibilidad y calidad en regiones o países, debido a la alteración del ciclo hidrológico a nivel global. Por lo que organismos internacionales han pronosticado escenarios catastróficos en la alimentación, salud humana y ambiental, en un futuro cercano. De los escenarios anteriores, el tema de la contaminación es el que se experimenta en distintos grados de afectación. La contaminación en cuerpos de agua se explica por diferentes causas, como son: vertederos (descargas de producción agropecuaria) (Linhe *et al.*, 2021) o derrames industriales con una amplia gama de químicos (productos farmacéuticos, de cuidado personal, plastificantes y aditivos industriales, -contaminantes emergentes (CE)-). Además de la presencia de los hidrocarburos de petróleo/combustibles, plaguicidas y fertilizantes – contaminantes persistentes (COPs)- que son productos de consumo cotidiano en las actividades económicas de una región. La contaminación del agua en la zona rural es visible por el uso masivo de agroquímicos y combustibles en zonas mecanizadas, que afecta cuerpos de agua superficiales y los mantos freáticos (García-Gutiérrez & Rodríguez-Meza, 2012). Esto causa efectos negativos en el ambiente y en la salud humana, en especial a la cadena trófica donde se ocasiona un proceso de bioacumulación en los seres vivos. La presencia de los contaminantes en el agua es un tema difícil dado el problema de su eliminación y remoción durante los procesos de tratamiento, el aumento del uso de las aguas residuales, el desconocimiento de las concentraciones y a las limitaciones analíticas e instrumentales en el laboratorio. Además de la transformación de los compuestos orgánicos que ponen en riesgo ambiental hacia los ecosistemas y la seguridad alimentaria de una población (Gil *et al.*, 2012). El reto actual es conocer la situación de la calidad del agua y los métodos utilizados en un lapso de tiempo en la zona rural con relación a la calidad e inocuidad de este recurso y de forma indirecta de los alimentos producidos

MATERIAL Y MÉTODOS

A partir de la búsqueda de las palabras plaguicidas e hidrocarburos aromáticos policíclicos en plataformas electrónicas académicas de investigación (Google académico, Scopus, Elsevier, Scielo entre otros), se citan 50 documentos de 150 que se revisaron y que aportaron información valiosa para esta revisión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contaminación del agua por contaminantes orgánicos persistentes

La continua necesidad de producir alimentos para una población que presenta un rápido crecimiento, ha hecho que el uso de compuestos químicos sintéticos, sean fundamentales para garantizar la protección y la calidad de los cultivos y del ganado. Por



lo que, la agricultura y la ganadería tienen un papel importante en el consumo de productos derivados del petróleo y plaguicidas, que contaminan el aire, suelo y agua. (Sarika, 2024). La contaminación del agua se aprecia en tres rubros principales por su importancia económica: Agrícola, residencial e industrial. En el caso de la agricultura que es una actividad antropogénica, la contaminación se origina por la aplicación de los fertilizantes, plaguicidas, abonos, residuos agrícolas entre otros. Por lo que la contaminación del ambiente es significativa, principalmente, el caso del agua superficial y subterránea donde se aprecian distintos procesos de contaminación como lo son el escurrimiento, lixiviación, volatilización y eutrofización entre otros (Figura 1).

Los contaminantes al ser de tipo inorgánicos y orgánicos, este último, destacan los contaminantes orgánicos persistentes (COPs) como es el caso de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs): (benzo(a)pireno, pireno, benzo(k)fluoranteno entre otros) así como los plaguicidas clorados como el DDT entre otros. A últimas fechas se aprecian los contaminantes emergentes, como es el caso, de los microplásticos que aumentan más los riesgos a la salud de los seres vivos (Figura 2). Al mismo tiempo afecta las redes tróficas y en especial, el recurso agua (Iqra & Mushtaq, 2023; Sarika, 2024).

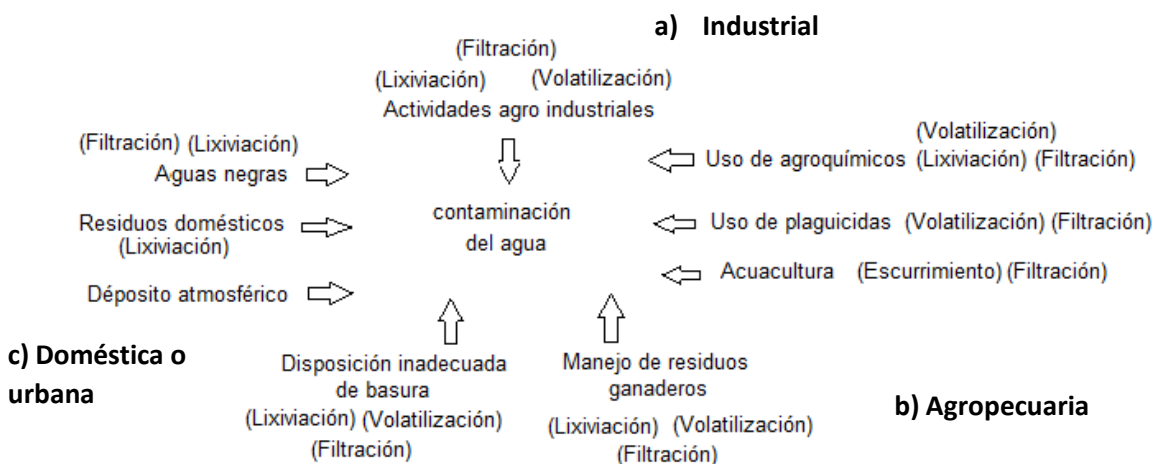


Figura 1. Fuentes de contaminación en el agua a) zonas industriales, b) zonas agropecuarias y c) zonas urbanas

Presencia de los HAPs en el agua

Los HAPs son un grupo de contaminantes químicos, ubicuos y tóxicos tanto para el ambiente como para los alimentos. Los HAPs están formados por dos o más anillos aromáticos condensados, estos compuestos se producen a través de la combustión incompleta o de pirólisis de la materia orgánica, actividad volcánica, producción de petróleo y gas (procesos geológicos) y actividades industriales (calefacción, asfalto,

refinación de petróleo, emisiones vehiculares entre otros) ([Abdel-Shafy & Mansour, 2016](#)).

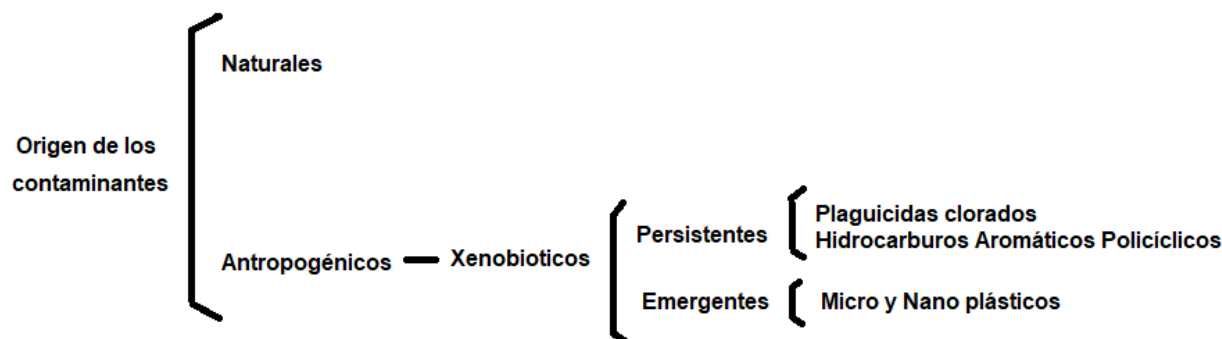


Figura 2. Clasificación de los contaminantes orgánicos presentes en el agua

Los HAPs presentan una baja hidrosolubilidad, y su presencia en el medio acuático es con la asociación del material orgánico y arcillas, representan un peligro para todos los organismos vivos. Los HAPs en el agua están fuertemente regulados a través de una legislación o normas ambientales en la mayoría de los países debido a los riesgos potenciales para la salud humana. Por ejemplo, se ha establecido como norma que la suma total de la concentración para algunos HAPs como el fenantreno y benzo(b)fluoranteno, en agua potable debe ser inferior a 0.2 µg/L, mientras que para el benzo(a)pireno, la concentración límite es de 0.7 µg/L ([NOM-127-SSA1-2021](#)). Mientras en aguas superficiales usadas como fuente de abastecimiento potable, el límite establecido para la suma de los seis HAP fue de 1 µg/L ([Vera-Ávila et al., 2002](#); [Pacin et al., 2023](#)). En el agua de río de China, el antraceno y fluoranteno tuvieron concentraciones de 29 y 26 ng/L. Aunque las concentraciones y tipo de compuestos pueden variar de acuerdo con las condiciones de la zona, como fue el caso de tres embalses de un río de China donde se detectaron el fenantreno, fluoranteno, pireno y criseno mostraron valores de 13.8 a 97.2 ng/L, dichas variaciones fueron atribuidas a una situación de sedimentación atmosférica y lixiviación de capas superficiales del suelo hacia el cuerpo del agua ([Zhao et al., 2015](#)). En el caso de México, los estudios son limitados en la cuantificación de los 16 HAPs prioritarios, por ejemplo, el caso de la laguna de Mecoacán, Tabasco, México en 1993 y 1996, mostraron concentraciones totales de 0.2 a 0.8 µg/L y 0.3 a 2.8 µg/L respectivamente ([Armenta-Arteaga & Elizalde-González, 2003](#)). La contaminación del agua por los HAPs se debe al petróleo (derrames y quema de combustibles) y plaguicidas principalmente, que llegan a los mantos freáticos y cuerpos de agua superficiales, como lagos, arroyos y ríos. Estas fuentes de agua la población rural las utiliza para riego o como bebedero del ganado ([Prieto-Díaz & Martínez de Villa Pérez, 1999](#); [Udiwal & Patel, 2010](#)).



La contaminación del agua por hidrocarburos (grasas, aceites y derivados), cambia las propiedades organolépticas del esta, y se provoca el rechazo de los consumidores, además si se ingiere representa un riesgo para la salud (Mesa-Mesa & Falcón-Hernández, 2017) y no solo para los consumidores, sino también, para el ecosistema (Castillo-Bertel *et al.*, 2013; Udiwal & Patel, 2010). La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) identifica 16 HAP's como prioritarios en el medio ambiente por ser altamente contaminantes y cancerígenos (naftaleno peso molecular 128 g/mol, acenafteno 154 g/mol, acenaftileno 152 g/mol, pireno 202 g/mol, fluoreno 166 g/mol, fluoranteno 166 g/mol, antraceno 178 g/mol, criseno 228 g/mol, fenantreno 178 g/mol, benzo(a)antraceno 228 g/mol, benzo(b)fluoranteno 252 g/mol, benzo(a)pireno 252 g/mol, benzo(k)fluoranteno 252 g/mol, dibenzo(a,h)antraceno 278 g/mol, benzo(i,g,h)perileno 276 g/mol, indeno(1,2,3,cd)pireno 276 g/mol).

Los HAPs que tienen más de cuatro anillos aromáticos son recalcitrantes y resistentes a la degradación biológica, esto hace que sean persistentes en el ambiente. Es el caso de la cuenca alta del lago Taihu, China, donde se demostró que las fuentes contaminantes de HAPs provenían de una mezcla de derrames de petróleo y combustión, estos compuestos se cuantificaron con un promedio de 472.62 ng/g y los HAP de alto peso molecular fueron predominantes (Wang *et al.*, 2022). Por otro lado, se han encontrado hidrocarburos contaminantes en numerosos cuerpos de agua, como lo son: el Río Tonalá, donde las concentraciones oscilan desde 1.189 µ/L, Río Coatzacoalcos (680 µ/L), Laguna de Mecoacán en Tabasco (112 µ/L), Laguna de Alvarado, Veracruz (18 µ/L), Laguna Bojorquez en Quintana Roo (12 µ/L); otro estudio reporta el análisis de los sedimentos en la laguna Nichupté con concentraciones de hidrocarburos policíclicos aromáticos (54 µg/g) y en Sontecomapan, Veracruz (11.7 µg/g); este tipo de contaminación sugiere que su origen fue derivado de incendios forestales y quemas agrícolas, además existen organismos en esos cuerpos de agua que son sensibles a la presencia de los derivados de petróleo, por lo que al contaminarse el cuerpo de agua, dichos organismos desaparecen, uno de ellos es utilizado en estudios como organismo indicador, es la especie *Artemia salina* L. (Benítez *et al.*, 2014; Maddela *et al.* 2016).

Presencia de plaguicidas organoclorados en el agua

Los pesticidas organoclorados son compuestos químicos de origen sintético, que están constituidos por estructuras hidrocarbonadas donde algunos átomos de hidrógeno se han sustituido por átomos de cloro. En la década de los 70's fueron los plaguicidas más utilizados en el ámbito agrícola y como consecuencia se encuentran distribuidos en el ambiente terrestre y acuático (Calva *et al.*, 1998). Algunos como el Dicloro difenil tricloroetano (DDT), Aldrin, Endrin, Lindano son de los que más se han reportado en la literatura y han sido comercializados en diversas presentaciones (polvos, aerosol y líquidos) (Zaragoza-Bastida *et al.*, 2016). Químicamente hay tres clases diferentes, a)



derivados de los etanos y el más conocido es el DDT, b) los ciclodienos como el aldrin, clordano, dieldrin, heptachlor, endrin y toxafeno, c) y la serie de los hexaclorociclohexanos como el lindano; todos tienen características muy similares (solubilidad y poca volatilidad) lo cual les confiere resistencia a la degradación química, por el contrario, en contacto con luz ultravioleta del sol, el oxígeno y organismos vivos, se transforman en menor grado, esto da origen a nuevas sustancias, no muy diferentes químicamente pero suelen ser más tóxicas (Ortíz *et al.*, 2013; Zaragoza-Bastida *et al.*, 2016). Es necesario enfatizar que muchos de estos compuestos se han reportado como cancerígenos y se clasifican como compuestos persistentes, ya que son resistentes a la fotodegradación, la degradación biológica y química. Aún en bajas concentraciones resultan ser tóxicos, debido a su alta solubilidad y su capacidad de bioacumularse, por lo que los efectos pueden presentarse a largo plazo (Ortíz *et al.*, 2013). Tales propiedades afectan al ecosistema edáfico y acuático dado por la facilidad de movilidad como la volatilidad, solubilidad y degradación. En el caso de un ecosistema acuático, los plaguicidas entran por el proceso de evaporación-condensación vía atmósfera y a su vez, por adsorción o absorción pasan al agua subterránea o puede pasar a las plantas por bioacumulación a través de las raíces. De esta forma se afecta la salud ambiental y en especial, la salud de los organismos presentes en el suelo y en cuerpos acuáticos (Shefali *et al.*, 2021).

Efecto de los HAPs y plaguicidas organoclorados en el ambiente y la salud humana

Los efectos de los HAPs son variados, por ejemplo, algunos de ellos causan daño en el sistema nervioso central. Los HAPs afectan el sistema inmune, el hígado, el bazo, los riñones y los pulmones. La vía de interferencia que se ha reportado es la membrana y sus sistemas enzimáticos. También se ha demostrado que tienen efectos carcinogénicos y mutagénicos y son potentes inmunosupresores (Armstrong *et al.*, 2004; Abdel-Shafy & Mansour, 2016). Estos compuestos son altamente solubles en lípidos, por ello, se absorben rápidamente en el tracto intestinal de mamíferos y se distribuyen fácilmente en una amplia variedad de tejidos con una marcada tendencia a la grasa corporal (tejidos grasos) (Abdel-Shafy & Mansour, 2016; Hunt *et al.*, 2019). También se ha reportado inflamación endotelial cardiovascular en niños expuestos a HAP's y se ha demostrado que causan enfermedad cardiovascular periférica, cardiopatía isquémica mortal y arterioesclerosis (Xu *et al.*, 2013; Hu *et al.*, 2018).

En cuanto a los plaguicidas ha resultado ser eficientes en el control de plagas y vectores de enfermedades, sin embargo, representan un alto riesgo para los sistemas biológicos; se han reportado problemas de bioacumulación en zooplancton, ictiofauna y aves (Tison *et al.*, 2024), además de alterar el metabolismo de los organismos. Cuando los ambientes terrestres o acuáticos están contaminados, se da un proceso de bioacumulación en los seres vivos que habitan dichos lugares y afecta organismos de interés económico, como



lo son algunos peces (*Lujanus colorado* y *Mugil curema*) que, al ser consumidos, se transfieren los contaminantes y afecta de este modo, toda la cadena alimenticia. Esta situación se ha apreciado en sistemas de alta diversidad, con la presencia de 14 plaguicidas y moléculas de heptacloro epóxido, endrin, y aldrin; en algunos casos se ha sobrepasado el límite máximo permisible de la norma ambiental FAO/WHO. Lo anterior se relaciona con la presencia o salida de drenes agrícolas que transportan tales contaminantes (García-Gutiérrez & Rodríguez-Meza, 2012). Los efectos tóxicos causados por los plaguicidas pueden clasificarse de acuerdo con el periodo de exposición que puede ser de corto (sin exceder las 96 horas) o largo plazo (mayor de 96 horas), o bien por el tipo de exposición que puede ser letal o subletal (Shekar *et al.*, 2024). El impacto ecológico puede ir desde leves daños hasta grandes trastornos ecológicos con repercusiones en la vida de peces, aves y mamíferos, incluso la salud humana (Orta, 2002). Por ejemplo, en 2007 para Brasil se reportaron concentraciones de 7.38 ng/g de Dicloro Difenil Dicloroetano (DDD), 11.9 ng/g de Dicloro Difenil Dicloroetileno (DDE) en leche, lo que representa un gran riesgo para la población como resultado de la exposición a la degradación del DDT (Heck *et al.*, 2007). Esto ha sucedido ya que el DDT es insoluble en agua, pero soluble en grasas y aceites, su volatilidad es baja, por lo que su toxicidad por inhalación es casi nula, solo por aerosoles podría causarse una intoxicación por inhalación. En cuanto a los plaguicidas organoclorados, estos pueden desplazarse a sitios distintos al punto donde son dirigidos y afectan a otros ambientes; al estar presentes de forma constante, se convierten en contaminantes persistentes, su vida media es de 5 años; además de asociarse a los seres vivos por su alta afinidad a la grasa corporal y causa daños metabólicos (disruptores endócrinos) (Zaragoza-Bastida *et al.*, 2016). Las evidencias existentes sobre los efectos teratogénicos, carcinogénicos, inmunológicos, disruptores endócrinos y de bioacumulación de los plaguicidas organoclorados, los llevaron a su prohibición en el mundo. Aunque los plaguicidas organoclorados, tienen alta persistencia en el ambiente y alto potencial de biomagnificación, los productos de transformación incrementan la complejidad de los efectos tóxicos en el ambiente. La información disponible, muestra que, en la fase ambiental, estas sustancias alcanzan entre el 75 y el 100 % de su degradación en un tiempo de 4 a 30 años. Actualmente, los plaguicidas organoclorados se encuentran en gran parte prohibidos o restringidos, por lo que las compañías de agroquímicos han recurrido a la estrategia de elaborar mezclas de pesticidas, generalmente se utilizan diluyentes o excipientes inertes, que constituyen gran parte del producto final y cuyos efectos nocivos son mayores que el ingrediente activo, los excipientes más comunes son el tetracloruro de carbono y el cloroformo, éstos se consideran hepatotóxicos y neurotóxicos (Narváez-Valderrama *et al.*, 2012). Las rutas de ingreso de los plaguicidas en los seres vivos comienzan por el consumo de alimentos y agua contaminados, dado que el organismo no los logra desechar, ocurre una



bioacumulación que es turnada a los siguientes eslabones de la cadena trófica ([Rangel-Ortíz et al., 2023](#)), así como, la absorción dérmica de desparasitantes y la inhalación de vapores emitidos al momento de la aplicación ([Jin et al., 2019](#)). Por ejemplo, en un estudio realizado en granjas lecheras de Argentina se aprecia que el agua y el consumo de leche bovina afectan a la salud de los pobladores en distintos grados, de acuerdo, a la edad de las personas (niños problemas en la sangre-metahemoglobina y en adultos problemas de cáncer gástrico) ([Urseler et al., 2022](#)). Los contaminantes se acumulan de un eslabón a otro, por ejemplo, en 1992 se detectaron elevadas concentraciones de DDT, en tejido adiposo de humano (24.82 mg/kg), en personas que consumían leche de una entidad específica de Veracruz ([Ortiz et al., 2013](#)). Al metabolizar la grasa acumulada, estos niveles dañan principalmente al sistema nervioso, ocasiona dolores de cabeza, temblores y convulsiones, náuseas, vómitos y mareos; cuando se está expuesto por mucho tiempo puede causar daño hepático ([Mishra et al., 2011](#); [Meza-Montenegro et al., 2013](#)). Existen registros de madres que tienen este tipo de compuestos en su organismo y lo pasan al feto por medio del cordón umbilical ([Magnarelli et al., 2014](#)).

Métodos de detección o evaluación de contaminantes de HAPs y plaguicidas organoclorados

Los métodos de detección de pesticidas organoclorados y HAPs son eficientes y muy variados (Tabla 1), debido a que se busca utilizar métodos relativamente sencillos pero eficientes y menos costosos. Hasta ahora, el estudio y detección de estos contaminantes, es complejo, al existir gran diversidad de componentes en ellos, por lo que el aspecto determinante es el costo económico, y disponibilidad de instrumentos y reactivos. Dentro del desarrollo de los métodos, se ha observado que es necesario un primer paso, un pretratamiento antes del paso de determinación, que es como una limpieza de la muestra, sobre todo en fases sólidas, como el suelo ([Dalvand & Ghasvand, 2019](#)). Las técnicas analíticas son variables dado por la evolución de las técnicas donde destaca la cromatografía de gases (CG) o cromatografía líquida de alto rendimiento o ultra rendimiento (HPLC o UPLC) acoplado a la espectrometría de masas (MS) para la identificación y cuantificación de plaguicidas. Sin embargo, con la gran variedad de sustancias y el elevado costo de análisis, se requiere la implementación de estrategias en donde en un solo análisis se logren identificar y cuantificar sustancias de interés. Por ello, se han desarrollado métodos multiresiduos o screening ([Huérffano-Barco & Guerrero-Dallos, 2018](#)). Lo anterior aplica en la extracción de los analitos de interés, por ejemplo, los métodos de micro extracción en fase sólida (SPME), basadas en aguja, que incluyen fase trampa de aguja (NTD), trampa de adsorción capilar con aguja interior, se han desarrollado como un método para preparar las muestras a determinar. Por lo que, en muchos casos, se realiza una combinación de los métodos de extracción y análisis, en ciertos casos, se combinan métodos como la espectroscopia infrarroja y la espectrometría de masas, antes de esto se aplica un pretratamiento de microextracción



líquido-líquido, con lo que se han logrado identificar hidrocarburos aromáticos ([Ortíz et al., 2013](#)).

La mayoría de los métodos requieren equipos o insumos de elevado costo, por lo que, se buscan métodos sencillos y económicos pero eficientes como es el caso de kits de campo que son prácticos en su uso y transporte ([Khezeli et al., 2015](#)), o bien, emplear métodos específicos como el denominado Emulsión-líquido y microextracción basada en solvente. Con este método se tuvo éxito al determinar 10 compuestos, entre hidrocarbonados y policíclicos aromáticos y se logró determinar y recuperar hasta el 90% de éstos. Los métodos reportados en diversas ocasiones se complementan para obtener mejores resultados, ya sea en sensibilidad o en número de compuestos de hidrocarburos contaminantes determinados; y se sigue en la búsqueda de métodos eficientes y económicos que se puedan utilizar. [Makos et al. \(2018\)](#) que combinó tres métodos (microextracción líquido-líquido dispersiva acoplada a cromatografía de gases y espectrometría de masas) con ello logró identificar 22 compuestos aromáticos, monoaromáticos y policíclicos de efluentes post oxidativos de la producción de bitumen de petróleo. Otro método reportado es el uso de sensores que hacen uso de la nanotecnología y los nanomateriales con la ayuda de otras herramientas como la dispersión Raman, la resonancia de plasmones superficiales, la detección fluorescente y la detección electroquímica se han utilizado en diversas áreas como la detección de pesticidas organofosforados y la detección de metales pesados, así como de COP (Contaminantes orgánicos persistentes) ([Zhang & Fang, 2010](#)), detección de trazas de mercurio, detección selectiva de glucosa ([Watanabe & Einaga, 2009](#)), hidrocarburos en aire y solventes orgánicos ([Archer et al., 2005](#)), así como muchas otras aplicaciones con éxito. La condición de volatilidad y solubilidad que tienen los compuestos orgánicos persistentes (hidrocarburos y plaguicidas) propician que en los cuerpos de agua contaminados se lleven a cabo diferentes procesos químicos (oxidación, fotólisis, hidrólisis) y biológicos (biodegradación) que afectan la calidad ([Ríos et al., 2019](#)). Por lo que es importante establecer estrategias de recuperación de éstos y sus sedimentos, así como impulsar leyes que prohíban el uso desmedido de los plaguicidas. La disponibilidad y calidad de los datos colectados en las investigaciones relacionadas a la contaminación de agua en zonas rurales, es una prioridad para los países en desarrollo. Para lograr una mayor confiabilidad de las concentraciones en laboratorio, se debe tener metodologías estandarizadas en la colecta, conservación, transporte y análisis de laboratorio; de ser posible los laboratorios deben ser reconocidos con ejercicios de inter calibración entre estados o países para asegurar datos de calidad. Además de compartir y transparentar los datos en portales accesibles para su adecuada difusión ([Dinede et al., 2023](#)). Los métodos de análisis más empleados se describen en la tabla 1.



Tabla 1. Métodos de evaluación de HAPs y plaguicidas organoclorados reportados

Método	Muestra	Ventaja	Sustancia evaluada	Referencia
LLE(pentanoato de metilo) GC-APLI-QTOF-MS	Agua	Técnicamente sencillo, permite cuantificación rápida	48 HAPs	(Soursou <i>et al.</i> 2023; Castillo-Bertel <i>et al.</i> , 2013; Makoš <i>et al.</i> , 2018; Prieto-Díaz & Martínez de Villa Pérez, 1999)
Espectroscópico ultravioleta	Agua		Alifáticos y HAPs	(Prieto-Díaz & Martínez de Villa Pérez, 1999)
Cromatografía de gases/ acoplado a un detector de captura de electrones	Agua/Suelo/Sangre/orina	Se lleva más tiempo que otros métodos y es complejo	Alifáticos y HAPs/ Organoclorados prioritarios	(Dalvand & Ghiasvand, 2019; Makoš <i>et al.</i> , 2018) (Prieto-Díaz & Martínez de Villa Pérez, 1999)
Cromatografía de masas	Agua de llave, lago, río y residuales	Relativamente sencillo, absorbentes de zeolita	16 y 11 nitro HAPs	(Soursou <i>et al.</i> , 2023)
CG-FID	Agua de lluvia y agrícola	Sencillo y rápido	8 HAPs	(Soursou <i>et al.</i> , 2023)
Cromatografía de Masas/Masas Quadrupolo EPA8240	Agua de río, agua de llave Suelo (Fracciones de hidrocarburo)	Complejo por los absorbentes No provee información relativa a la composición del crudo y propone eliminar la presencia de compuestos polares en las muestras de suelo contaminadas	16 HAPs Alifáticos y HAPs	(Soursou <i>et al.</i> , 2023) (Moubasher <i>et al.</i> , 2014)
HPLC-Fluorescencia	Agua de río, lluvia y costera		Alifáticos y HAPs	(Moubasher <i>et al.</i> , 2014)
HPLC-DAD	Agua de río	Optimización del pH y sencillo	12 HAPs	(Soursou <i>et al.</i> , 2023)
HPLC	Agua	Muy sensible	Alifáticos y HAPs / Organoclorados prioritarios	Moubasher <i>et al.</i> , 2014; Polanco Rodríguez <i>et al.</i> , 2015)
Sensores electroquímicos	Suelo, agua y aire	Sencillo y bajo costo	Alifáticos y HAPs / organoclorados prioritarios	
Screening	Frutas y hortalizas	Rapidez y relativa facilidad	Organoclorados prioritarios	(Huérfano Barco & Guerrero Dallos, 2018)

Lo anterior, debe ser claro por la expansión territorial y la mecanización de las actividades agropecuarias que impacta al ambiente. La modernización de las actividades agropecuarias tiene un serio impacto, como la degradación del agua, suelo y aire, el



aumento de la energía, emisiones de los gases de efecto invernadero y la pérdida de la biodiversidad.

CONCLUSIÓN

La contaminación de los cuerpos de agua, ocurre por actividades antropogénicas, esto incluye el uso de pesticidas organoclorados y el uso de maquinaria agrícola que al quemar combustible genera concentraciones de HAPs, así como las quemas que se realizan de residuos agrícolas. Estos compuestos son transportados mediante lixiviación a cuerpos de agua superficiales y subterráneos, algunos de ellos son resistentes a la degradación biológica por lo que se vuelven persistentes en el ambiente. En cuanto a los efectos que causan, ambos grupos (HAPs y Organoclorados) tienen diversos efectos dañinos en el organismo de gran impacto como la acción carcinogénica que ambos detonan. En cuanto a los métodos de análisis, existe gran variedad de métodos que se complementan para una determinación más exacta, tanto de la sustancia como de la concentración; en función de la disponibilidad de métodos de análisis, se logra la oportuna detección y así lograr tomar medidas precautorias o correctivas. Por lo que es necesario mantener monitoreada de forma constante el agua de drenes, ríos, lagos, lagos temporales u ojos de agua en zonas rurales para conocer la magnitud y la trazabilidad de los contaminantes.

LITERATURA CITADA

- ABDEL-SHAFY HI, Mansour MS. 2016. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum*. 25:107-123. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.011>
- ARCHER M, Christophersen M, Fauchet PM. 2005. Electrical porous silicon chemical sensor for detection of organic solvents. *Sensors and Actuators, B: Chemical*. 106(1):347-357. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2004.08.016>
- ARMENTA-ARTEAGA G, Elizalde-González MP. 2003. Contamination by HAP, PCB, PCP y metales pesados en el agua y los sedimentos del estuario de Mecoácfín tras un derrame de petróleo. *Journal Soils & Sediments*. 3:35-40. <https://doi.org/10.1007/BF02989467>
- ARMSTRONG B, Hutchinson E, Unwin J, Fletcher T. 2004. Lung cancer risk after exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: A review and meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*. 112:970-978. <https://doi.org/10.1289/ehp.689>
- BENÍTEZ JA, Cerón-Bretón RM, Cerón-Bretón JG, Rendón-Von-Osten J. 2014. The environmental impact of human activities on the Mexican coast of the Gulf of Mexico: Review of status and trends. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 181:37-50. <https://doi.org/10.2495/EID140041>



CALVA LG, Torres-Alvarado MR. 1998. Plaguicidas Organoclorados. *ContactoS*. 30(1):35-46.

https://www.researchgate.net/publication/333732372_Plaguicidas_OrganocloradosCAN-TU-Soto

CANTU-SOTO EU, Meza-Montenegro MM, Valenzuela-Quintanar AI, Félix-Fuentes A, Grajeda-Cota P, Balderas-Cortes JJ, Osorio-Rosas CL, Acuña-García MG, Aguilar-Apodaca MG. 2011. Residues of Organochlorine Pesticides in Soils from the Southern Sonora, Mexico. *Boletín De Contaminación Ambiental y Toxicología*. 87:556-560.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00128-011-0353-5>

CASTILLO-BERTEL ME, Herrera-Franco JG, Acevedo-Barrios RL, Severiche-Sierra CA. 2013. Evaluación analítica para la determinación de hidrocarburos totales en aguas por espectroscopia Infrarroja. *Bolivian Journal of Chemistry*. 30(2):146-152.

<http://www.scielo.org.bo/pdf/rbq/v30n2/v30n2a07.pdf>

DALVAND K, Ghiasvand A. 2019. Simultaneous analysis of PAHs and BTEX in soil by a needle trap device coupled with GC-FID and using response surface methodology involving Box-Behnken design. *Analytica Chimica Acta*. 1083:119-129.

<https://doi.org/10.1016/j.aca.2019.07.063>

DINEDE G, Bihon W, Gazu L, Foukmeniok Mbokou S, Girma S, Srinivasan R, Roothaert R, Grace D, Gashaw H, Knight-Jones TJD. 2023. Assessment of pesticide residues in vegetables produced in central and eastern Ethiopia. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 7:e1143753. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1143753>

GARCÍA-GUTIÉRREZ C, Rodríguez-Meza GD. 2012. Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. *Ra Ximhai*. 8 (3b):1-10.

<https://www.redalyc.org/pdf/461/46125177005.pdf>

GIL JM, Soto MA, Usma IJ, Gutiérrez DO. 2012. Emerging contaminants in waters: effects and possible treatments Contaminantes emergentes em águas, efeitos e possíveis tratamentos. *Producción + Limpia*. 7(2):25-73.

<http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>

HECK MC, Sifuentes dos Santos J, Bogusz-Junior S, Costabeber I, Emanuelli T. 2007. Estimation of children exposure to organochlorine compounds through milk in Rio Grande do Sul, Brazil. *Food Chemistry*. 102(1): 288-294.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.019>



HU C, Hou J, Zhou Y, Sun H, Yin W, Zhang Y, Yuan J. 2018. Association of polycyclic aromatic hydrocarbons exposure with atherosclerotic cardiovascular disease risk: A role of mean platelet volume or club cell secretory protein. *Environmental Pollution*. 233:45-53. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.042>

HUÉRFANO-BARCO IM, Guerrero-Dallos JA. 2018. Método cualitativo rápido (Screening) para a detecção de resíduos de pesticidas nas frutas e nos vegetais. *Revista Colombiana de Química*. 47(1):16-26. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v47n1.62240>

HUNT LJ, Duca D, Dan T, Knopper LD. 2019. Petroleum hydrocarbon (PHC) uptake in plants: A literature review. *Environmental Pollution*. 25:472-484. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.012>

IQRA Zahoor, Ayesha Mushtaq 2023. Water Pollution from Agricultural Activities: A Critical Global Review. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*. 23(1):164-176. <https://www.iscientific.org/wp-content/uploads/2023/05/19-IJCBS-23-23-24.pdf>

JIAMAN-MA A, Eldon-R RB, Zongyao-Chen XC, Weifang M. 2022. Fate of PAHs in treated wastewater reused as irrigation water: Environmental risks in water-soil-ryegrass multimedia system. *Journal of Hazardous Materials*. 424 (Part B):1-11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18778-0.00014-3>

JIN X, Liu Y, Qiao X, Guo R, Liu C, Wang X, Zhao X. 2019. Risk assessment of organochlorine pesticides in drinking water source of the Yangtze River. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 182:1-6. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109390>

KHEZELI T, Daneshfar A, Sahraei R. 2015. Emulsification liquid-liquid microextraction based on deep eutectic solvent: An extraction method for the determination of benzene, toluene, ethylbenzene and seven polycyclic aromatic hydrocarbons from water samples. *Journal of Chromatography A*. 1425:25-33. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2015.11.007>

LINHE S, Huijun Z, Jixiang L, Bei L, Yajun C, Dongrui Y. 2021. A New Green Model for the Bioremediation and Resource Utilization of Livestock Wastewater. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 18(8634):2-13. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168634>

MADDELA NR, Burgos R, Kadiyala V, Carrion AR, Bangeppagari M. 2016. Removal of petroleum hydrocarbons from crude oil in solid and slurry phase by mixed soil microorganisms isolated from Ecuadorian oil fields. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 108:85-90. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.12.015>



MAGNARELLI G, Guiñazú N, Rovedatti M. 2014. Exposición ambiental a plaguicidas en la vida intrauterina: Mecanismos toxicológicos involucrados en los efectos a corto y largo plazo. *Ciencia e Investigación*. 64(5):2-16. <https://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2018/01/RevistasCel/tomo64-5/Rev-cei64-5-3.pdf>

MAKOŚ P, Fernandes A, Boczkaj G. 2018. Method for the simultaneous determination of monoaromatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in industrial effluents using dispersive liquid–liquid microextraction with gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Separation Science*. 41(11):2360-2367. <https://doi.org/10.1002/jssc.201701464>

MESA-MESA L, Falcón-Hernández J. 2017. Evaluación del Grado de Contaminación por Petróleo en Aguas de la Bahía de Santiago de Cuba. *Revista Boliviana de Química*. 34(2):56-64. http://www.scielo.org.bo/pdf/rbq/v34n2/v34n2_a03.pdf

MEZA-MONTENEGRO MM, Valenzuela-Quintanar AI, Balderas-Cortés JJ, Yañez-Estrada L, Gutiérrez-Coronado ML, Cuevas-Robles A, Gandolfi AJ. 2013. Exposure Assessment of Organochlorine Pesticides, Arsenic, and Lead in Children from the Major Agricultural Areas in Sonora, Mexico. *Arch Environ Contam Toxicol*. 64:519-527. <https://doi.org/10.1007/s00244-012-9846-4>

MISHRA K, Sharma RC, Kumar S. 2011. Organochlorine pollutants in human blood and their relation with age, gender and habitat from North-east India. *Chemosphere*. 85(3):454-464. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.07.074>

MONFORTE García G, Cantú Martínez CP. 2009. Escenario del agua en México. *CULCyT/Recursos Hídricos*. 6(30):31-40. <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/356/336>

MOUBASHER HA, Hegazy AK, Mohamed NH, Moustafa YM, Kabiell HF, Hamad AA. 2014. Phytoremediation of soils polluted with crude petroleum oil using *Bassia scoparia* and its associated rhizosphere microorganisms. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 98:113-120. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.11.019>

MUSA S, Gichuki JW, Raburu PO, Aura CM. 2011. Risk assessment for organochlorines and organophosphates pesticide residues in water and Sediments from lower Nyando/Sondu-Miriu River within Lake Victoria Basin, Kenya. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*. 16(4):273-280. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1770.2011.00486.x>



NARVÁEZ-VALDERRAMA J, Palacio-Baena J, Molina-Pérez F. 2012. Persistencia de plaguicidas en el ambiente y su ecotoxicidad: Una revisión de los procesos de degradación natural. *Gestión y Ambiente*. 15(3):27-38.

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/36278/37821>

NERINA-BELÉN L, Koch E, D'Angelo JA, Ciocco FN, Altamirano CJ. 2014. Sediment physicochemical properties condition pollutant association: a multivariate study of polybrominated diphenyl ethers on the Mendoza River irrigation areas. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*. 46(2):57-71.

<https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCA/article/view/5604>

URSELER N, Bachetti R, Biolé F, Morgante V, Morgante C. 2022. Atrazine pollution in groundwater and raw bovine milk: Water quality, bioaccumulation and human risk assessment. *Science of the Total Environment*. 852:2-12.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158498>

SECRETARÍA de Salud. 2021. NOM-127-SSA1-2021. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. DOF - Diario Oficial de la Federación. México.

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5650705

ONDARZA PM, Gonzalez M, Fillmann G, Miglioranza KS. 2014. PBDEs, PCBs and organochlorine pesticides distribution in edible fish from Negro River basin, Argentinean Patagonia. *Chemosphere*. 49:135-142.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.09.064>

ORTA AL. 2002. Contaminación de las aguas por plaguicidas químicos. *Fitosanidad*. 6(3): 55-62. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209118292006>

ORTÍZ I, Avila-Chávez MA, Torres GL. 2013. Plaguicidas en México: usos, riesgos y marco regulatorio. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*. 4(1): 26-46. <https://doi.org/10.7603/s40-01-00>

PACIN C, Martínez-Abaigar J, Núñez-Olivera E, Aboal J, Nicola F, Fernández JA. 2023. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) levels in PM 10 and bulk deposition using Mosspheres: A pilot study in an urban environment. *Environmental Research*. 223: e115406. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115406>

PHILLIPS PJ, Nowell LH, Gilliom RJ, Nakagaki N, Murray KR, VanAlstyne C. 2010. Composition, distribution, and potential toxicity of organochlorine mixtures in bed sediments of streams. *Science of the Total Environment*. 408(3):594-606.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.09.052>



POLANCO-RODRÍGUEZ AG, Navarro-Alberto JA, Solorio-Sánchez J, Mena-Rejón GJ, Marrufo-Gómez J, Del-Valls-Casillas TA. 2015. Contamination by organochlorine pesticides in the aquifer of the Ring of Cenotes in Yucatán, México. *Water and Environment Journal*. 29(1):140-150. <https://doi.org/10.1111/wej.12080>

PRIETO-DÍAZ VI, Martínez-De-Villa Pérez A. 1999. La Contaminación de las Aguas por hidrocarburos: Un Enfoque para Abordar su Estudio. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*. 37(1):13-20. <http://scielo.sld.cu/pdf/hie/v37n1/hie03199.pdf>

RANGEL-ORTÍZ E, Landa-Cansigno O, Páramo-Vargas J, Camarena-Pozos D. 2023. Prácticas de manejo de plaguicidas y percepciones de impactos a la salud y al medio ambiente entre usuarios de la cuenca del Río Turbio, Guanajuato, México. *Acta Universitaria*. 33:1-26. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3749>

RÍOS JM, Ruggeri MF, Poma G, Malarvannan G, Covaci A, Puliafito SE, Altamirano JC. 2019. Occurrence of organochlorine compounds in fish from freshwater environments of the central Andes, Argentina. *Science of The Total Environment*. 693:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.195>

SANTANA-GÓMEZ MA, Rodríguez-Heredia D, Díaz-Velázquez M, Miriam-Salazar P. 2016. Evaluation of the contamination for hydrocarbons in Santiago de Cuba's Bay. *Revista Cubana de Química*. 28(2):554-560. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212016000200002

SARIKA S. 2024. Water pollution in rural areas: Primary sources and associated health issues. En: *Water Resources Management for Rural Development: Challenges and Mitigation*, Elsevier Inc. ISBN: 978-0-443-18778-0. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18778-0.50003-8>

SHARMA K, Rajan S, Kanta-Nayak S. 2023. Water pollution: Primary sources and associated human health hazards with special emphasis on rural áreas. En: *Water Resources Management for Rural Development: Challenges and Mitigation*, Elsevier Inc. Pp. 3-14. ISBN:978-0-443-18778-0. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18778-0.00083-0>

SHEFALI RK, Mahipal-Singh S, Rajeev K, Swaroop SS. 2021. Impact of Pesticide Toxicity in Aquatic Environment. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 11(3):10131-10140. <https://doi.org/10.33263/BRIAC113.1013110140>

SHEKHAR C, Khosya R, Thakur K, Mahajan D, Kumar R, Kumar S, Kumar SA. 2024. A systematic review of pesticide exposure, associated risks, and long-term human health impacts. *Toxicology Reports*. 13, e101840. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101840>



SOURSOU V, Campo J, Picó Y. 2023. Revisiting the analytical determination of PAHs in environmental samples: An update on recent advances. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*. 37, e00195. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2023.e00195>

TISON L, Beaumelle L, Monceau K, Thiéry D. 2024. Transfer and bioaccumulation of pesticides in terrestrial arthropods and food webs: State of knowledge and perspectives for research. *Chemosphere*. 357, e142036.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142036>

UDIWAL KH, Patel VM. 2010. Restoration of Oil Contaminated Soil by Bioremediation for Ground Water Management and Environment Protection. *International Journal of Chemical, Environmental and Pharmaceutical Research*. 1(1):17-26.
<https://www.ijcepr.in/vol-1/issue-1/4.pdf>

URSELER N, Bachetti R, Biolé F, Morgatnre V, Morgante C. 2022. Atrazine pollutin in groundwater and raw bovine milk: Water quiality, bioacculation and human risk assessment. *Science of The Total Envormenta*. 852, e158498.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158498>

VERA-ÁVILA LE, Cázares-Ibáñez EA, Covarrubias-Herrera R, Camacho-Frías E. 2002. Metodología en línea para la determinación de hidrocarburos aromáticos polinucleares en agua al nivel de ultratrazas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 18(1): 5-16. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/25290>

WATANABE T, Einaga Y. 2009. Design and fabrication of nickel microdisk-arrayed diamond electrodes for a non-enzymatic glucose sensor based on control of diffusion profiles. *Biosensors and Bioelectronics*. 24(8):2684-2689.
<https://doi.org/10.1016/j.bios.2009.01.041>

WANG L, Ren X, Wang X, Ye P, Wang F, Cheng J, Chen Y, Yu A, Zhang L, Qiu Y. 2022. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) In the Upstream Rivers of Taihu Lake Basin, China: Spatial Distribution, Sources and Environmental Risk. *Environmental Science and Pollution Research*. 29:23690-23699. [http:// doi.org/10.1007/s11356-021-17598-w](http://doi.org/10.1007/s11356-021-17598-w)

XU X, Hu H, Kearney GD, Kan H, Sheps DS. 2013. Studying the effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on peripheral arterial disease in the United States. *Science of the Total Environment*. 6(1):43-55. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.04.089>

ZARAGOZA-BASTIDA A, Valladares-Carranza B, Ortega-Santana C, Zamora-Espinosa, J, Velázquez-Ordoñez V, Aparicio-Burgos J. 2016. Implications of the use of organochlorine in the environment, and public health. *Abanico veterinario*. 6(1):43-55.
<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico/index.php/abanico-veterinario/article/view/53/39>



ZAHOOR I, Mushtaq A. 2023. Water Pollution from Agricultural Activities: A Critical Global Review. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*. 21(1):164-176. <https://www.iscientific.org/wp-content/uploads/2023/05/19-IJCBS-23-23-24.pdf>

ZHANG L, Fang M. 2010. Nanomaterials in pollution trace detection and environmental improvement. *Nano Today*. 5(2):128-142. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2010.03.002>

ZHAO Zhonghua, Lu Zhang, Jinglu Wu. 2015. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and organochlorine pesticides (OCPs) in sediments from lakes along the middle-lower reaches of the Yangtze River and the Huaihe River of China. *Limnology and Oceanography*. 61(1):47-60. <https://doi.org/10.1002/lno.10197>

ZHOU R, Zhu L, Chen Y, Kong Q. 2008. Concentrations and characteristics of organochlorine pesticides in aquatic biota from Qiantang River in China. *Environmental Pollution*. 151(1):190-199. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.02.015>

[Errata, Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-agroforestal/errata>