

Tópicos selectos de sustentabilidad: Un reto permanente para el año 2025

Por Alejandro; José Luis Moreno Reséndez; Reyes Carrillo (Coords.)

CANTIDAD DE PALABRAS 42279

HORA DE ENTREGA

02-SEPT-2025 07:22P. M.

NÚMERO DE
IDENTIFICACIÓN DEL
TRABAJO

117997185

TÓPICOS SELECTOS DE SUSTENTABILIDAD: UN RETO PERMANENTE

PARA EL AÑO 2025

Edición y Compilación

Alejandro Moreno Reséndez

José Luis Reyes Carrillo

Hoja

legal

Contenido

Prefacio	11
Origen de la RAIAS	11
EXTRACCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS EN RESIDUOS LÁCTEOS	15
Karime Ortiz Estrada, Victoria Jared Borroel García, Mercedes Georgina Ramírez Aragón, José Dimas López Martínez, Jesús Alejandro Valdés-Nieblas	15
EL CILANTRO (<i>Coriandrum sativum</i> L.) Y SU VERSATILIDAD.....	43
María del Rosario Moncayo-Luján, Raúl Antonio Alvarado-Arroyo, Ramón Valenzuela-Soto, Diana Elizabeth Ramos-Santos, Miguel Ángel Serrano García ...	43
CARACTERÍSTICAS, BENEFICIOS Y APLICACIONES DE ACEITES ESENCIALES DE ORÉGANO (<i>Lippia Graveolens</i>) PARA SU COMERCIALIZACIÓN Y EXPORTACIÓN ..	70
Diana Maricela Rubio-Espino, Michel Esparza-Márquez, Jazmín Montserrat Gaucín-Delgado, Rebeca Sandoval-Chávez, María Teresa de-la-Torre-Villegas	70
PENSAMIENTO CRÍTICO: ESENCIAL PARA EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL INDIVIDUO Y SU CONVIVENCIA CON OTROS	126
Alejandro Moreno Reséndez	126
LA VERMICULTURA COMO ALTERNATIVA SUSTENTABLE EN ZONAS ÁRIDAS.....	147
Jorge Alejandro Aguirre Joya, Cristian Torres León, David Ramiro Aguillón Gutiérrez.....	147
TRANSFORMACIÓN AGRÍCOLA: TECNOLOGÍAS EMERGENTES COMO CLAVE PARA LA SOSTENIBILIDAD EN 2025	165
Alan Joel Servín-Prieto, Mónica Hernández-López, Tania Elizabeth Velásquez-Chávez, José María Juárez-Hernández, Marcial Humberto Vásquez-Corral, Adriana Viramontes Acosta, Jesús Alejandro Valdés Nieblas	165

Prólogo

³⁶ La Organización Mundial de la Salud y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura ²⁷ consideran ¹¹ que el consumo y la producción de alimentos inocuos reportan beneficios inmediatos y a largo plazo para las personas, el planeta y la economía. En el largo plazo, se podrá sostener el acceso a la alimentación saludable para todos si se adoptan innovaciones digitales, se promueven soluciones científicas y se respeta el conocimiento tradicional que ha sobrevivido al paso del tiempo. Nuestros sistemas alimentarios deben producir suficiente comida inocua para todos. El hecho de reconocer las conexiones sistémicas que existen entre la salud humana, la sanidad animal y vegetal, el medio ambiente y la economía contribuirá a que podamos suplir las necesidades del futuro. Las acciones locales basadas en soluciones equitativas, a menudo novedosas, así como el fortalecimiento de la colaboración multisectorial, son esenciales para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Los rubros contemplados en esta obra que inciden en de manera significativa en la sustentabilidad y que se abordan a profundidad son: “Extracción y cuantificación de ácidos grasos en residuos lácteos”, “El cilantro (*Coriandrum sativum* L.), y su versatilidad”, “Características, beneficios y aplicaciones de aceites esenciales de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) para su comercialización y exportación”, “Pensamiento crítico: esencial para el crecimiento y desarrollo del individuo y su convivencia con otros”, “La vermicultura como alternativa sustentable en zonas áridas, y la “Transformación agrícola: tecnologías emergentes como clave para la sostenibilidad en 2025”. La elaboración del libro “TÓPICOS SELECTOS DE SUSTENTABILIDAD: UN RETO PERMANENTE PARA EL AÑO 2025” se derivó del trabajo conjunto y de la colaboración del grupo de Profesores –

Investigadores de las diversas instituciones a las que pertenecen los Cuerpos Académicos que forman parte de la Red Académica de Innovación en Alimentos y Agricultura Sustentable (RAIAAS), los cuales se enlistan a continuación, conjuntamente con las instituciones de Investigación y las Instituciones de Educación Superior (IES) a las que pertenecen dichos cuerpos colegiados:

- Cuerpo Académico Ciencias Biológicas Aplicadas. Universidad Autónoma de Coahuila. Clave: UACOACH-92
- Cuerpo Académico Bioquímica Aplicada. Universidad Autónoma de Coahuila. Clave: UACOAH CA-5
- Cuerpo Académico Ingeniería en Biotecnología. Universidad Politécnica de Gómez Palacio. Clave: UPGOP-CA-5.
- Cuerpo Académico Ingeniería en Biotecnología y Administración de Negocios Internacionales. Universidad Politécnica de Gómez Palacio. Clave: UPGOP-CA-1
- Cuerpo Académico de Ingeniería en Tecnologías de la Información y Diseño Digital. Universidad Politécnica de Gómez Palacio. Clave: UPGOP-CA-2
- Cuerpo Académico Ingeniería en Biotecnología. Universidad Politécnica de Gómez Palacio. Clave: UPGOP-CA-5
- Cuerpo Académico Estrategias Innovadora Sustentables y Empresariales para la Globalización. Universidad Politécnica de Gómez Palacio. Clave: UPGOP-CA-4
- Cuerpo Académico Estrategia y Gestión Corporativa. Universidad Autónoma de Coahuila. Clave UACOAH-CA-102
- Cuerpo Académico Estudios de diagnóstico y de la dinámica de los sectores productivos para su desarrollo. Universidad Autónoma de Coahuila.

- Cuerpo Académico Odontología Preventiva. Universidad Autónoma de Coahuila. Clave UACOA-CA-103
- Cuerpo Académico Gestión Empresarial. Universidad Autónoma de Coahuila. UACOA-CA-32
- Cuerpo Académico Ecología, Biodiversidad y Manejo de Recursos Bióticos, Clave: UJED-CA87. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango
- Cuerpo Académico Elementos Nutricionales, Ambientales en el Proceso de Enfermedad. Universidad Juárez del Estado de Durango. Clave: UJED-CA-135
- Tecnologías y Sustentabilidad en Procesos Ambientales. Instituto Tecnológico Superior de Lerdo Clave: ITESL-CA-6
- Cuerpo Académico enfoque sistémico de la Ingeniería Química y el Desarrollo Sustentable. Instituto Tecnológico de la Laguna. Clave: ITLA-CA-8, en Consolidación
- Cuerpo Académico Agrobiotecnología. Universidad Autónoma de Coahuila. Clave: UACOA-CA-156
- Cuerpo Académico: Bioprocesos y Sistemas agroalimentarios, Universidad de Sonora Clave: UNISON-CA-198, y
- Cuerpo Académico Sistemas Sustentables para la Producción Agropecuaria. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Clave: UAAAN-CA-14

En esta edición consideramos indispensable incluir el obituario del **M.C. Avelino Hernández Corichi**, quien por 26 años, fungió como miembro y en la actualidad como

Coordinador del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (COECYT) Región Laguna de Coahuila, impulsando con gran compromiso y entusiasmo por vincular la ciencia y la tecnología, entre quiénes la generan, en sus instituciones educativas y centros de investigación, y quiénes la aplican, dentro de cada comunidad o empresa. También promotor de la integración de las Redes Académicas de Innovación.

“Nobleza obliga”

José Luis Reyes Carrillo

Obituario¹

M.C. Avelino Hernández Corichi

Noviembre de 1954 - agosto de 2025

El día 10 de agosto del presente año 2025, la Región Laguna perdió a uno de sus grandes constructores de conocimiento, el Maestro Avelino Hernández Corichi, quien dedicó 47 años de su vocación y talento al servicio de instituciones educativas, centros de investigación y proyectos estratégicos que buscaron, siempre, mejorar la vida de las comunidades laguneras. Su andar profesional comenzó desde muy joven, con una sólida formación en Sociología por la Universidad Iberoamericana, especializándose en Ciencia Política y Desarrollo Urbano y Social. Su pensamiento crítico, sensibilidad social y compromiso ético lo guiaron en cada espacio donde trabajó.

Entre 1988 y 1994, dirigió la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la UA de C, y desde entonces asumió el reto de conectar la investigación académica con las necesidades reales de la región. Su paso por diversas áreas —como el Departamento de Investigación y Posgrado, el desarrollo de planes regionales hidráulicos, y la gestión de proyectos científicos y tecnológicos— dejó una marca clara: hacer que el conocimiento sirva a las personas.

En el año de 1999, se integró al Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Coahuila (COECYT) como Jefe de Proyectos, desempeñando un papel clave en la promoción de convocatorias del CONACYT y del COECYT, brindando asesoría especializada a empresas, centros de investigación y desarrollo, así como a instituciones

¹ Fuente página de Facebook del COECYT (<https://www.facebook.com/coecytcoahuila/>), semblanza en memoria del MC. Avelino Hernández Corichi

de educación superior. Su labor incluía además el impulso a la creación de prototipos y el fortalecimiento de la cultura científica, tecnológica y de innovación.

Para el año 2012, el Mtro. Hernández Corichi fue designado como coordinador del COECYT en la Región Laguna, donde encabezó con convicción el impulso de una ciencia comprometida con su entorno. Fue el principal promotor y coordinador de las Redes de Innovación Cooperativa (RIC), una iniciativa pionera que transformó la forma en que diversos sectores de la sociedad abordan las problemáticas regionales.

Gracias a su liderazgo y visión estratégica, se consolidaron 22 Redes de Innovación Cooperativa y 14 Nodos en el estado, todas enfocadas en articular soluciones colectivas a través de la cooperación entre investigadores, instituciones, empresas, productores y ciudadanía. Estas redes no solo representan un logro institucional: son la prueba viva de su capacidad para inspirar confianza, diálogo y compromiso en quienes lo rodeaban.

Avelino Hernández Corichi no solo dejó huella por su notable capacidad intelectual ni por su incuestionable compromiso institucional, sino por algo mucho más difícil de medir: la calidez humana con la que tejía vínculos, impulsaba proyectos y acompañaba a las personas a su alrededor. En cada espacio en el que estuvo, sembró confianza, apertura y sentido colectivo. Para él, el conocimiento no era un privilegio individual, sino una herramienta para transformar realidades desde el diálogo y la colaboración.

Quienes lo conocieron de cerca lo recuerdan por su entrega generosa, su escucha paciente, su claridad de pensamiento y su entusiasmo genuino por cada causa que consideraba justa. Tenía la virtud de reunir voluntades, de conectar talentos, y de mantener siempre presente que la verdadera innovación nace cuando se construye con

otros. Su preocupación constante por formar comunidad en torno al conocimiento no fue un discurso, fue una práctica cotidiana.

Su fallecimiento representa una pérdida profunda y sentida, no solo para sus colegas y amigos, sino para toda una región que se benefició —muchas veces sin saberlo— de su labor incansable, de su visión de futuro, y de su convicción de que era posible crear mejores condiciones de vida a través de la ciencia, la educación y el compromiso social.

El mensaje que nos deja es tan claro como contundente: no hay transformación sin vocación, sin conocimiento, ni sin humanidad. Su ausencia deja un vacío que no es fácil de nombrar. Avelino no solo fue un colega, un maestro o un servidor público ejemplar; fue un ser humano que supo inspirar, acompañar y construir con otros.

Nos deja el privilegio de haber compartido con él proyectos, ideas, conversaciones y caminos, pero también la responsabilidad de continuar lo que con tanto esfuerzo sembró. Hoy, más que nunca, entendemos que su legado no se mide solo en logros institucionales, sino en las personas a las que formó, en los vínculos que creó y en la conciencia que despertó sobre el valor del conocimiento al servicio de la sociedad.

Seguir su ejemplo es, quizás, la mejor manera de honrar su vida: trabajar con sentido, con humanidad y con la convicción de que la ciencia, la educación y la cooperación pueden —y deben— cambiar el rumbo de nuestras comunidades.

Hasta siempre, maestro Avelino

Proceso de revisión de capítulos de libro

Como parte del trabajo académico de los Profesores – Investigadores (PI), integrantes de la RAIAAS así como PI, de diversas IES, de la Comarca Lagunera y de otros estados de México, se realizó el proceso de arbitraje, aplicando el **sistema doble ciego**, por tal motivo es necesario otorgar un amplio reconocimiento a todos aquéllos que colaboraron en este proceso, pues sus críticas, comentarios, observaciones y sugerencias permitieron que los autores y colaboradores, responsables de los capítulos que se incluyen en esta obra “Tópicos selectos de Sustentabilidad: Un Reto Permanente para el año 2025, hayan fortalecido los documentos correspondientes, así como la calidad de esta obra.

Los PI participantes en la revisión fueron:

- Dra. Victoria Jared Borroel García¹
- Dra. Mercedes Georgina Ramírez Aragón¹
- Dra. Jolanta Elzbieta Marszalek²
- Dra. Gabriela Vargas González²
- Dr. Lucio Sifuentes Rodríguez²
- Dra. Karen Nathiely Ramírez Guzmán²
- Dra. María del Rosario Moncayo Luján³
- Dr. Gabriel Fernando Cardoza Martínez³
- Dra. Gabriela Ramos Clamont Montfort⁴
- Dr. Alejandro Moreno Reséndez⁵
- Dr. José Luis Reyes Carrillo⁵
- Dr. Edgar Omar Rueda Puente⁶
- Dr. José Luis García Hernández⁶

- 1.- Tecnologías y Sustentabilidad en Procesos Ambientales, Clave: ITESL-CA-6
- 2.-Cuerpo Académico Ciencias Biológicas Aplicadas. Clave: UACOACH-92. Facultad de Ciencias Biológicas, Unidad Torreón, Universidad Autónoma de Coahuila
- 3.- Cuerpo Académico Ingeniería en Biotecnología, Clave: UPGOP-CA-5. Universidad Politécnica de Gómez Palacio.
- 4.-Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Unidad Regional Sonora.
- 5.- Cuerpo Académico Sistemas Sustentables para la Producción Agropecuaria, UAAAN-CA-14. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – Unidad Laguna
- 6.- Cuerpo Académico: Bioprocesos y Sistemas agroalimentarios, Clave: UNISON-CA-198
- 7.- Cuerpo Académico, Clave: UJED-CA87. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango.





**Participantes el VIII Foro Universitario de Sustentabilidad. Sede Facultad de
Administración Fiscal y Financiera. Universidad Autónoma de Coahuila, Campus
Torreón. Fuente: Propia**

EXTRACCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS EN RESIDUOS LÁCTEOS

EXTRACTION AND QUANTIFICATION OF FATTY ACIDS IN DAIRY RESIDUES

**Karime Ortiz Estrada¹, Victoria Jared Borroel García^{2*}, Mercedes Georgina Ramírez
Aragón², José Dimas López Martínez², Jesús Alejandro Valdés-Nieblas²**

¹Universidad Politécnica de Gómez Palacio. Carr. 2do. Periférico s/n, Col. El Vergel, CP 3512, Cd. Gómez
Palacio, Durango Tel. 8711142387, proyectos@biotransformadora.com, ²Instituto de Estudios Superiores de
Lerdo. Periférico Lerdo, Plácido Domingo, CP 35150, Cd. Lerdo, Tel. 8717255802,
victoria.bg@itslerdo.edu.mx

RESUMEN

Uno de los principales productos en el sector agropecuario a nivel mundial es la leche, este es un producto altamente consumido, posicionándose entre los cinco principales productos agropecuarios y sus derivados, representando un 14 % del comercio mundial. La industria lechera cuenta con plantas de sistemas de tratamiento de aguas residuales, debido a que en cada proceso de elaboración de productos derivados de la leche, resultan grandes cantidades de residuos líquidos con concentraciones elevadas de aceites, grasas y sólidos suspendidos, lo que ocasiona un alto índice de contaminación ambiental, sin

embargo estos lodos contienen características de tipo proteico, algunas bacterias, nutrientes y residuos de origen vegetal. Las grasas de origen animal obtenidas a partir de subproductos de la industria láctea se utilizan normalmente en la producción de piensos, jabones o biodiesel, debido a su bajo costo y disponibilidad. En el presente trabajo se analizaron dos muestras de residuos A y B de la industria lechera, mediante el método de calentamiento y centrifugación, los mejores resultados se observaron en los residuos de la muestra A, donde se tuvo una mayor recuperación de grasas con un 14 % de rendimiento.

Palabras clave: centrifugación, decantación, grasas, oleico, proteico, saponificación.

ABSTRACT

One of the main products in the agricultural sector worldwide is milk; this is a highly consumed product, ranking among the five main agricultural products and their derivatives, representing 14 % of world trade. The dairy industry has wastewater treatment system plants, because in each process of manufacturing products derived from milk, large quantities of liquid waste result with high concentrations of oils, fats and suspended solids, which causes a high rate of environmental contamination, however these sludge contain protein-type characteristics, some bacteria, nutrients and residues of plant origin. Animal fats obtained from by-products of the dairy industry are normally used in the production of feed, soap or biodiesel, due to their low cost and availability. In the present work, two samples of waste A and B from the dairy industry were analyzed, using the heating and centrifugation method, the best results were observed in the waste of sample A, where there was a greater recovery of fats with a 14 % performance.

Key words: centrifugation, decantation, fats, oleic, proteic, saponification

Introducción

El avance a nivel mundial de la industria alimentaria desde la segunda mitad del siglo XX se enmarca en la instauración de una forma de alimentación moderna, donde la fabricación de alimentos está predominantemente en manos de laboratorios y complejos agroindustriales. Este fenómeno de globalización ha engendrado una mayor dependencia de la agricultura respecto a la agroindustria, estableciendo vínculos que incluyen relaciones de subordinación. Como consecuencia, han surgido procesos de regionalización en la producción y comercio, fortaleciendo la posición de las compañías de las naciones industrializadas (1).

En ciertas naciones en vías de desarrollo, existe una arraigada tradición en la producción de leche, donde este alimento o sus derivados desempeñan un papel crucial en la alimentación. En contraste, en otros países, el aumento significativo en la producción láctea es un fenómeno más reciente. La mayoría de las naciones del primer grupo están ubicadas en áreas como el Mediterráneo, el Cercano Oriente, el subcontinente indio, las regiones de sabana en África occidental, las zonas montañosas de África oriental y ciertas partes de América Latina y Centroamérica (2).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) la leche desempeña un papel esencial en la promoción de la seguridad alimentaria y la disminución de la pobreza a nivel global. La industria láctea no solo constituye una fuente constante de ingresos, sino que también suministra

alimentos ricos en nutrientes como proteínas de alto valor, hidratos de carbono, lípidos, yodo, calcio, fósforo, etc., diversifica los riesgos económicos, optimiza la utilización de los recursos disponibles, fomenta la creación de empleo tanto en la producción como en otros sectores, ofrece oportunidades para las mujeres y contribuye a la estabilidad financiera y posición social (3).

La cría de ganado bovino para la producción de leche es una de las actividades pecuarias más destacadas a nivel global, impulsada por la creciente demanda de productos lácteos para satisfacer las necesidades de consumo de la población, especialmente en el segmento infantil y de adultos mayores. En México, la producción de alimentos derivados del ganado bovino, tanto lácteos como cárnicos, contribuye significativamente al producto interno bruto del sector alimentario, representando aproximadamente el 32 % (4).

Estado del arte

La producción de leche en el mundo

La industria láctea desempeña un papel crucial en la nutrición humana debido a los continuos avances en la investigación genética, las técnicas de alimentación del ganado y los descubrimientos relacionados con la salud destinado a mejorar la calidad de vida. Estos avances tienen un profundo impacto en los patrones de consumo y el comportamiento del mercado de la amplia gama de productos que ofrece la industria láctea. La Unión Europea, Oceanía y América del Norte son los principales exportadores de leche del mundo (Figura 1) (4).

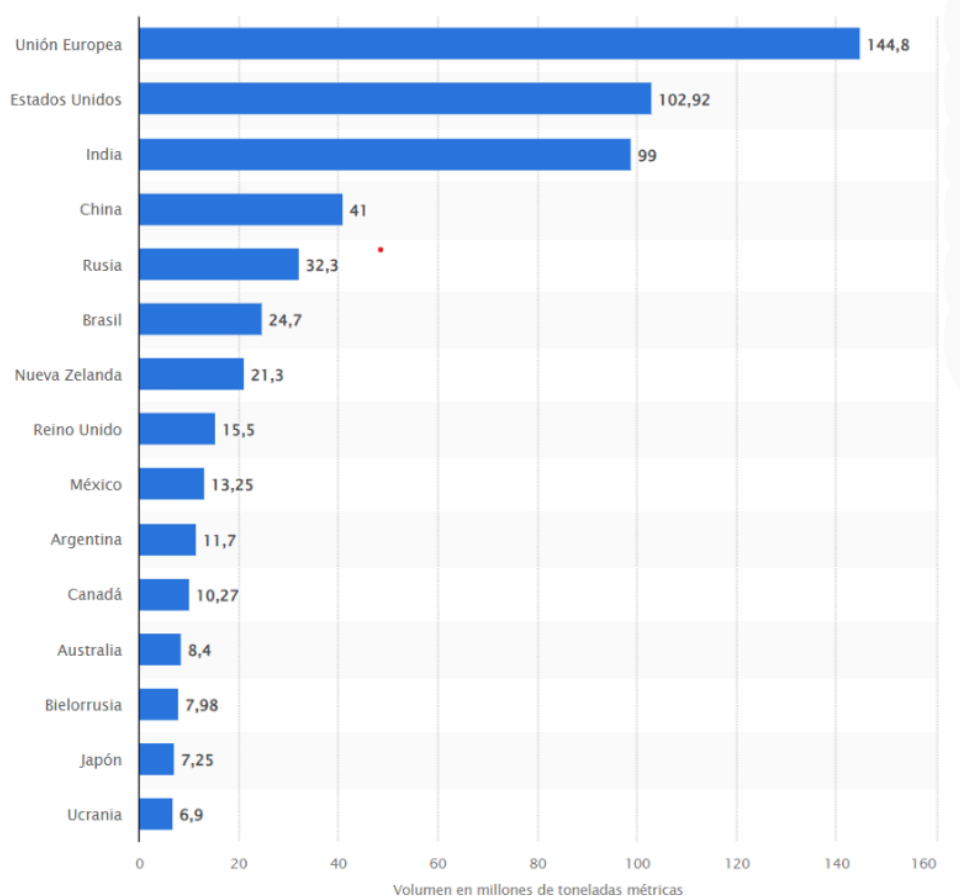


Figura 1. Principales productores de leche en el mundo

Fuente: <https://es.statista.com/estadisticas/600241/principales-productores-de-leche-de-vaca-en-el-mundo-en/>

La producción de leche en México

En México, la producción de leche se lleva a cabo mediante tres sistemas principales: lechería intensiva, lechería familiar y lechería tropical o de doble propósito. Cada uno de estos sistemas se distingue por su diversidad en términos de productividad, métodos de producción y tamaño de las empresas. La leche se produce en regiones con climas

variados, desde áridos y semiáridos hasta tropicales, e incluso en el altiplano del país, lo que implica condiciones ambientales muy diferentes (5).

La lechería, intensiva y familiar, enfocada en razas lecheras especializadas, predomina en zonas templadas, semiáridas y áridas del país. En contraste, la lechería tropical o de doble propósito, que utiliza vacas cruzadas, se desarrolla en regiones tropicales. Esta diversidad productiva ha dado origen a sistemas comerciales de leche fresca con características únicas, determinadas por el manejo de los hatos y la región donde se ubican (6).

En México, la producción lechera se ha centralizado en áreas especializadas, conocidas como cuencas, desde donde se distribuye a los principales centros urbanos para su consumo. Este sector se distingue por su concentración geográfica y su significativa importancia económica. Existen tres sistemas de producción láctea que se diferencian geográficamente en este país: a) el sistema intensivo, que abarca la Comarca Lagunera en Durango y Coahuila, y recientemente Querétaro; b) el sistema familiar, que se extiende por todo el altiplano central; y c) el sistema extensivo de doble propósito, que se encuentra en las regiones tropicales. La organización de la producción de leche a nivel nacional refleja lo que sucede a nivel mundial: procesos de concentración en la producción y control por parte de la agroindustria (1).

La producción de leche se extiende por las diversas regiones agroecológicas de México, abarcando zonas áridas, semiáridas, templadas y tropicales. Sin embargo, dentro de cada región se han identificado y caracterizado distintos sistemas de producción, tomando en cuenta su importancia en términos productivos, económicos, agroecológicos y sociales. Estos sistemas se clasifican como: sistema intensivo-especializado (SIE),

sistema familiar-traspatio (SFT) y sistema doble-propósito (SDP) (4, 6). Si bien la distinción entre estos sistemas es clara, su distribución no es exclusiva de una sola región. Los SIE se concentran principalmente en La Comarca Lagunera, que comprende los municipios de Coahuila de Torreón, Matamoros, San Pedro, Francisco I. Madero y Viesca, y de Durango, Gómez Palacio, Lerdo, Tlahualilo y Mapimí (4).

La producción de leche de vaca domina el panorama lácteo nacional, posicionándose como el tercer producto de mayor valor agregado en la industria alimentaria, con un 17.22 % del total, solo superado por la carne de bovino (30 %) y la carne de ave (23 %). Según el informe de Estadísticas del Sector Lácteo de abril de 2021, elaborado por la Cámara Nacional de Industriales de la Leche (CANILEC) (7). México ocupa el puesto 16 a nivel mundial en cuanto a producción de leche, alcanzando un volumen anualizado de 450 millones de litros, equivalente al 2 % del total global. En el ámbito del mercado internacional de lácteos, el país se destaca como un importador neto de productos lácteos, principalmente quesos y leche en polvo. Cabe destacar que la producción de leche en México se caracteriza por su diversidad, con la presencia de tres sistemas principales: intensivo-especializado, familiar-traspatio y doble propósito) (8)

Industrial láctea en la Comarca Lagunera

Desde sus inicios, en la Comarca Lagunera, la actividad lechera se ha desarrollado bajo las condiciones naturales de la región, caracterizada por un clima árido. El sistema de producción de leche predominante en esta área desde el principio ha sido el intensivo o modelo Holstein. Este enfoque de producción implica la adopción de tecnologías innovadoras para mejorar la calidad y eficiencia en la producción láctea. Entre estas innovaciones se incluyen la utilización de la inseminación artificial para el mejoramiento

genético, la introducción de forrajes de alta calidad como la alfalfa en la alimentación del ganado, la implementación de sistemas de ordeña mecanizada y el establecimiento de una cadena de frío para mantener la leche en óptimas condiciones, desde su recolección inicial hasta su distribución y venta como producto final (9).

La Comarca Lagunera, con una producción anual de 2,448 millones de litros y una participación del 21 % en la producción nacional, es la principal región productora de leche en México. En el año 2018, el inventario de ganado bovino lechero en la Comarca Lagunera alcanzó las 490,876 cabezas. En esta zona coexisten diversos sistemas de producción de leche de vaca, siendo el sistema intensivo altamente tecnificado el predominante, con establos que albergan más de 6000 animales y una producción promedio por vaca en ordeño de más de 32 litros diarios (10).

La industria alimentaria, incluyendo la industria láctea, se encuentra entre las más contaminantes del planeta debido a la generación de residuos con alta carga orgánica, de difícil degradación ambiental. El lacto suero, subproducto principal de la elaboración del queso tras la separación de la caseína, representa alrededor del 85-95 % del volumen de la leche y contiene la mayoría de sus compuestos hidrosolubles. Este residuo está compuesto principalmente por lactosa, proteínas, grasas y minerales, con un contenido de materia orgánica que varía entre el 50 y el 60 % (11).

Generación de efluentes

El impacto ambiental más relevante de la industria lechera es la generación de aguas residuales. Esta problemática se debe tanto a los altos volúmenes de aguas residuales producidos como a la carga contaminante que éstas contienen. Las aguas residuales de la industria láctea se caracterizan por presentar un alto contenido de grasa, nitrógeno y

fósforo, además de la ya conocida demanda química de oxígeno (DQO) elevada. Esta combinación de contaminantes hace necesario implementar procesos de nitrificación-desnitrificación para su tratamiento adecuado. Al igual que en otras empresas del sector agroalimentario, las industrias lácteas requieren grandes volúmenes de agua a diario para sus procesos productivos, especialmente para cumplir con las estrictas normas de higiene y sanidad (12).

Composición de aguas residuales de la industria láctea

La industria lechera se compone en gran mayoría de varios productos, en la siguiente Cuadro se tienen las concentraciones de cada uno de los vertidos en base al producto que se elabora (cuadro 1).

Vertidos residuales de la industria láctea

Los llamados vertidos residuales de la industria lechera se producen a consecuencia de las actividades de limpieza de superficies y purgas de equipos, operaciones de equipos como condensadores y enfriadores (9). Son aquellas aguas residuales que son caracterizadas por una alta demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO), así como un alto contenido orgánico, sólidos disueltos o suspendidos, que incluyen grasas, aceites y algunos nutrientes (13).

Cada agua residual resultante se somete a diversos procesos de tratamiento biológico; tratamiento en estanques, plantas de lodos activados y tratamiento anaeróbico. Por su parte, los métodos fisicoquímicos como la coagulación, el tratamiento electroquímico, la adsorción, entre otros, no son capaces de degradar completamente y eliminar los contaminantes, particularmente orgánicos disueltos. Es el método de coagulación-floculación el método fisicoquímico más utilizado en la

industria, el cual permite la aglomeración de partículas para ser fácilmente removidas por sedimentación o filtración (14). Amador *et al.* (15) mencionan que los residuos sólidos generados en el proceso productivo como lo son los lodos provenientes de las plantas de tratamiento son dispuestos en vertederos o reutilizados como abono.

Cuadro 1. Composición de aguas residuales de la industria láctea según el proceso

Parámetro	Leche	Quesos	Derivados lácteos	Helados
pH	8.5	6.9	8.5	8
DQO (mg•L ⁻¹)	1775	4500	4000	925
SS (mg•L ⁻¹)	435	850	825	425
Fósforo (mg•L ⁻¹)	20	35	6.25	5.5
NTK (mg•L ⁻¹)	65	100	100	75
Conductividad (μS•cm ⁻¹)	1650	3150	1250	1200
Cloruros (mg•L ⁻¹)	140	220	100	135
Nitratos (mg•L ⁻¹)	50	105	90	75
Aceites y grasas (mg•L ⁻¹)	105	365	110	25
Detergentes (mg•L ⁻¹)	3.5	7	7.5	6

Fuente: <https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-lactea/>

Lodos residuales

Un lodo residual es todo residuo resultante de procesos industriales y domésticos, los cuales contienen altos niveles de humedad. Se definen como los productos de la

concentración de los sólidos contenidos en el efluente, o de la formación de nuevos sólidos suspendidos resultantes de los sólidos disueltos. Son conocidos también como biosólidos y pueden presentarse como líquidos, sólidos o semisólidos; tienen origen en procesos mecánicos, biológicos y químicos del tratamiento de agua residual (16).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) (16) define que el lodo residual es el residuo generado en los procesos de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, los cuales pueden ser utilizados en tierras agrícolas como zonas verdes, cultivos, áreas de construcción, tierras de minería, bosques, parques, cementerios, jardines de hogar, pero siempre se debe realizar un tratamiento previo para su uso.

Clasificación de lodos residuales

Para Donado (17), la clasificación se da en tres categorías:

- Aprovechables: Provenientes del tratamiento aerobio y anaerobio de las Plantas tratadoras de residuos (PTAR) con capacidad de ser reaprovechados en procesos de compostaje o generación de energía; los cuales necesitan ser estabilizados para emplearse como abonos y restauradores de suelos
- No aprovechables: Con nulas propiedades para aprovechamiento, debido a la baja carga orgánica y poder calorífico, haciendo que sean dirigidos directamente a un relleno sanitario
- Peligrosos: Contenedores de sustancias dañinas a seres vivos y afectación a ambientes naturales, aptos para una disposición específica bajo medidas estrictas de seguridad.

Clasificación de generadores de lodos residuales

Según la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (18) “se refiere a la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos, en el territorio nacional”. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, valorización y gestión integral de los residuos peligrosos, mineros y metalúrgicos, sólidos urbanos, de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación” (cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación de los generadores de residuo según la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)

Grandes generadores	Pequeños generadores	Micro generadores
Son aquellos que realizan una actividad en la que generan una cantidad igual o superior a 10 t en peso bruto total de residuos al año o su equivalente en otra unidad de medida [1].	Son aquellos que realizan una actividad en la cual generan una cantidad mayor a 400 kg y menor a 10 toneladas en peso bruto total de residuos al año o su equivalente en otra unidad de medida [2].	Son aquellos establecimientos industrial, comercial o de servicios que generan una cantidad hasta de 400 kg de residuos peligrosos al año o su equivalente en otra unidad de medida [3] ² .

² [1] Artículo 5º, fracción XII de la LGPGIR; [2] Artículo 5º, fracción XX de la LGPGIR; [3] Artículo 5º, fracción XIX de la LGPGIR³ Parte de la filosofía que trata del ser en cuanto tal, y de sus propiedades, principios y causas primeras. Diccionario de la lengua española - Vigésima segunda edición. < <http://www.rae.es/drae/>>.

Métodos de estabilización de lodos residuales

Estabilización biológica

- Digestión aerobia: Sistema al cual se le debe proporcionar oxígeno por un periodo significativo de tiempo para generar el desarrollo de microorganismos aerobios hasta que se llegue al punto de auto oxidación para lograr la reducción celular y disminuir sólidos volátiles en suspensión (19).
- Digestión anaerobia: Campos (20) describe este proceso biológico fermentativo en donde la materia orgánica se descompone por medio de la acción de microorganismos que la transforman en dióxido de carbono y metano.

Estabilización no biológica

Según Morales (21) describe la estabilización de los lodos bajo tratamiento fisicoquímico por floculación y métodos como los térmicos o filtración a presión; entre los métodos de estabilización no biológica se encuentra la pasteurización de lodos, tratamiento con cal y acondicionamiento térmico.

Método de coagulación-floculación

Es el método aplicable a la separación de partículas de diversos tipos de densidades, neutralizando sus cargas y logrando unirlos para formar una sola masa, permitiendo una separación exitosa mediante sedimentación o filtración. Mazille *et al.* (22) definen este método como una técnica química de tratamiento aplicada para mejorar la capacidad de eliminación de partículas en un proceso físico de separación. Rodríguez *et al.* (23) mencionan que los procesos aplicados en tratamiento de aguas residuales no deben solo remover contaminantes, sino que también reacciona a la variabilidad de caudales, concentración y composición de estas aguas.

En la industria láctea los procesos de depuración han permitido tratar eficientemente las aguas residuales generadas en sus procesos. Sin embargo, se presentan problemas en las unidades de tratamiento por la alta concentración de sólidos, aceites y grasas, y el incremento de la materia orgánica, lo que repercute en la calidad del efluente final y en la constitución de sus lodos. Ante las problemáticas presentadas se destacó el tratamiento fisicoquímico de coagulación/floculación, el cual permitió desestabilizar partículas suspendidas y propiciar la formación de flóculos que son fácilmente removidos, su eficiencia en remoción de aceites y grasas incrementaría con la implementación de coagulantes y polímeros que otorgan estas cualidades de formación y separación de partículas (24). Calleja (25) define un coagulante como sustancia química capaz de alterar la carga eléctrica de partículas suspendidas, permitiendo una aglutinación; floculante, sustancia que induce la desestabilización de partículas coloidales suspendidas. Ambos procesos esenciales en separación y eliminación de sólidos suspendidos en el agua.

Clasificación de las grasas

La composición de los lípidos en la leche de vaca no es uniforme y se ve influenciada por diversos factores ambientales a los que el animal está expuesto. La fracción lipídica de la leche está compuesta principalmente por triglicéridos (aproximadamente un 98 %), seguidos de diglicéridos (alrededor del 2 %). En menor proporción, se encuentran el colesterol, ácidos grasos libres, vitaminas liposolubles y betacarotenos, representando menos del 0.5 % del total.

En cuanto a la composición de ácidos grasos, la leche presenta un 70 % de ácidos grasos saturados en promedio. Los ácidos palmítico, esteárico y mirístico son los

principales ácidos grasos saturados presentes. El 30 % restante corresponde a ácidos grasos insaturados, de los cuales aproximadamente el 25 % son mono insaturados, principalmente ácido oleico (ω -9) con un 23.8 %. Los ácidos grasos poliinsaturados, como el ácido linoleico (ω -6) y el ácido α -linolénico (ω -3), representan alrededor del 2.3 % del total, con una proporción de 2.3:1 entre estos dos últimos. El ácido linoleico conjugado (CLA) también se encuentra presente en la leche, aunque en menor cantidad. Es importante destacar que la proporción de ácidos grasos en la leche puede variar dependiendo de factores como la raza de la vaca, su alimentación, la época del año y las prácticas de manejo (26).

Lípidos

Los lípidos son una agrupación de sustancias insolubles, entre estos existen algunos solubles ante solventes, como lo son los triglicéridos (grasas), fosfolípidos y esteroides. El término lípido se ajusta a todo compuesto relativamente insoluble en agua y soluble en solventes no polares, mencionan que los lípidos consisten de grupos no polares con un alto contenido de carbono e hidrógeno (25).

Clasificación de lípidos

Según Villamil *et al.* (26) los lípidos se clasifican en grupos con forme a su composición:

- Lípidos simples: Todo éster de ácidos grasos con alcoholes, grasas y ceras
- Lípidos complejos: Ésteres de ácidos grasos que contienen más grupos aparte de alcoholes y ácidos grasos
- Lípidos precursores y derivados: Son los ácidos grasos, glicerol, esteroides, vitaminas, hormonas liposolubles.

La FEPALE (28) menciona que los lípidos de la leche están formados principalmente por triglicéridos en un porcentaje de 96-98 % y el porcentaje restante por lípidos simples como diglicéridos, monoglicéridos, ésteres de colesterol y ceras; lípidos más complejos, mayoritariamente fosfolípidos; colesterol, antioxidantes; carotenoides y xantofilas (cuadro 3).

Cuadro 3. Composición de los lípidos de la leche de vaca

Lípido	Porcentaje mínimo	Porcentaje máximo
Triglicéridos	97.0	98.0
Diglicéridos	0.3	0.6
Monoglicéridos	0.2	0.4
Ácidos grasos libres	0.1	0.4
Fosfolípidos	0.2	1.0
Colesterol	0.3	0.4
Hidrocarburos	Trazas	Trazas

Parámetros de calidad en grasas y aceites

Ácidos grasos libres

Según Golib (29) son ácidos grasos de cadena larga no esterificados presentes en el suero, siendo su destino la oxidación o resíntesis de triglicéridos, éstos indican el grado de deterioro hidrolítico que sufre la grasa, es decir su grado de rancidez. Los ácidos grasos son responsables del deterioro del producto y el en ranciamiento provocando cambios indeseables en el color, sabor, aroma y consistencia en las grasas. Las grasas pueden sufrir transformaciones químicas como oxidación, hidrólisis,

hidrogenación o fermentación, lo que provoca la liberación de ácidos grasos libres y confiere el carácter ácido de las grasas. La NMX-F-101-SCFI-2012 (30) define los ácidos grasos libres como ácidos grasos que tienen un grupo ácido pero que no están unidos a un alcohol.

Densidad

La NMX-F-075-1987 (31), define la densidad relativa como la relación masa de un volumen de una sustancia, y masa de un volumen igual de agua en las mismas condiciones de presión y temperatura. La densidad de los aceites es siempre menor que el agua, por ello todos los aceites flotan en ella y quedan en la superficie, este principio físico de aceites fue la que se empleó para la separación de las grasas del agua y de los sólidos no grasos de los residuos lácteos. Según Palacios *et al.* (32) la densidad es la magnitud que expresa la cantidad de materia de una sustancia contenida en un determinado volumen, esta depende de la presión y temperatura del sistema.

Color Lovibond

La NMX-F-116-SCFI-2012 (33) “establece que el color es un atributo característico de los aceites y grasas, el método Lovibond permite la determinación de color en aceites y grasas, permitiendo esclarecer su calidad y procesamiento. El color de los aceites y grasas es causado por una mezcla de pigmentos entre los cuales se encuentran carotenos, clorofilas, luteína, licopeno, gossipol y otros. Este método se basa en la igualación de color de la muestra con la escala Lovibond”.

Titer

Según la NMX-F-149-1970(34) el titer es el punto de solidificación de los ácidos grasos

contenidos en el sebo, expresado en grados Celsius. Este es un análisis de laboratorio que sirve para determinar la calidad del sebo o aceite (35).

Saponificación

Representa la cantidad de hidróxido de potasio (KOH) necesarios para la neutralización de los ácidos grasos contenidos en un gramo de grasa. Evalúa la pureza del aceite, un índice de saponificación alto indica una alta pureza (36).

Índice de peróxido

El índice de peróxidos se expresa como la cantidad de miliequivalentes (mEq) de peróxido por kilogramo de muestra. Este análisis se basa en la capacidad del oxígeno activo para oxidar el yoduro potásico y liberar yodo, el cual luego se valora con tiosulfato utilizando una solución de almidón como indicador (37).

Metodología

Extracción de ácidos grasos

Para el análisis de las muestras se recolectaron 2 kg de muestra, de residuos lácteos, etiquetada como A y 2 kg de muestras de residuos lácteos etiquetado como B. Para extracción de las grasas, fueron calentadas en un baño con agua a 60 °C durante 30 minutos, posteriormente, las muestras fueron colocados en tubos cónicos de 50 mL y se centrifugó a 4000 x g (gravedades) durante 8 minutos a 25 °C. Para la recuperación de las grasas, estas fueron transferidas a tubos nuevos mediante decantación. Una vez recuperadas, a las grasas se le realizaron diferentes pruebas como, contenido de humedad, ácidos grasos libres, índice de peróxido, densidad. Una vez separado la cantidad máxima de aceite en la muestra, se filtró aprovechando la temperatura y estado líquido del aceite.

Posteriormente de haber recuperado el aceite, se envió el producto al laboratorio de procesamiento y preservación de alimentos de origen animal del Centro de Investigación en Alimentos y Desarrollo (CIAD) donde se realizaron diversos análisis para verificar la calidad del aceite (cuadro 3).

Resultados

Las muestras de residuos lácteos A y B presentaron liberación de grasas a los 60 °C. La mayor recuperación de grasas fue en los residuos lácteos de la muestra A con 14 % de rendimiento, mientras que en residuos lácteos de la muestra B el rendimiento fue del 7 % de. El aspecto de las grasas recuperadas fue diferente. En cuanto al color, las grasas de la muestra A fue de un color claro y con transparencia como se muestra en la figura 2, mientras que el color de las grasas de la muestra B fue oscuro y opaco como se muestra en la figura 3. En cuanto al aroma de las grasas de B, presentaron aromas fuertes y desagradables característicos de una grasa rancia, caso contrario de las grasas de A, que no presentaron olores tan fuertes, es decir, eran olores característicos a la grasa butírica. En el cuadro 4, se observan los resultados de los parámetros evaluados.

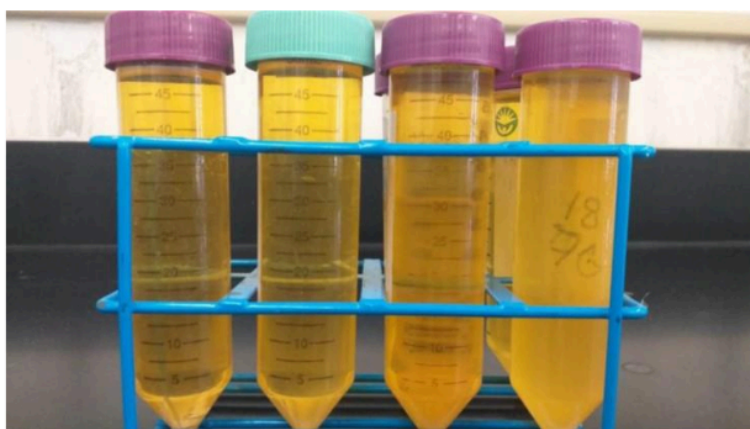


Figura 2. Grasas purificadas de la marca "A"

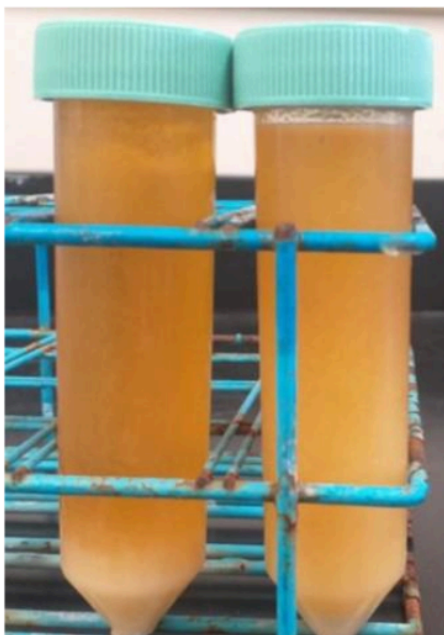


Figura. 3 Grasas purificadas de la marca “B”

Ácidos grasos libres

El contenido de ácidos grasos libres expresados en ácido butírico fue mayor en grasas de la marca B en comparación con las grasas de la marca A. Debido al procesamiento que sufre la materia prima y en particular al almacenamiento, las grasas pueden sufrir transformaciones químicas como oxidación, hidrólisis, hidrogenación o fermentación, lo que provoca la liberación de ácidos grasos libres y confiere el carácter ácido de las grasas. Los ácidos grasos son responsables del deterioro del producto y la rancidez, provocando cambios indeseables en el color, sabor, aroma y consistencia en las grasas.

Índice de peróxido

El índice de peróxido es uno de los parámetros que definen la calidad de las grasas, esta prueba permite determinar mili equivalentes (meq) de oxígeno en forma de peróxido por kilogramo de grasa. De esta manera, el índice de peróxido determina el inicio de la oxidación de las grasas. Las grasas de la marca A presentaron un índice de peróxido de 12.05 meq $O_2 \cdot Kg^{-1}$ de grasa, mientras que en las grasas de la marca B no fue posible la detección de peróxidos. La baja o nula detección de peróxidos en grasa B, se debe a una mayor oxidación de las grasas, debido a que los peróxidos se degradan en aldehídos y cetonas que son las responsables de los malos aromas y sabores; por lo anterior el método está limitado a las primeras etapas de la oxidación cuando estos alcanzan la máxima concentración de peróxidos, por esto, es probable que la grasa de la marca B este demasiado oxidada y por consiguiente el índice de peróxidos sea bajo o indetectable.

Humedad y pH

El contenido de humedad fue de 0.03 y 0.02 % en grasas de B y A respectivamente. El contenido de humedad fue mínima debido al proceso de separación de la grasa que se empleó intentando obtener una grasa pura. Debido a lo anterior y que el pH es una propiedad del agua, es imposible determinar el pH de los aceites y grasas, ya que el contenido de agua es mínimo en las grasas. El parámetro que se puede determinar en lugar del pH es el contenido de ácidos grasos libres.

Densidad y sedimentación

La densidad de las grasas fue de 0.91 $g \cdot mL^{-1}$ tanto en la marca B y A. La densidad en la mayoría de las grasas y aceites se encontró entre 0.84 a 0.96 $g \cdot mL^{-1}$. La densidad de los aceites es siempre menor que el agua, por ello todos los aceites flotan en ella y quedan en

la superficie, este principio físico de los aceites fue la que se empleó para la separación de las grasas del agua y de los sólidos no grasos de los residuos lácteos. En cuanto al índice de sedimentación fue de 0, debido al proceso de separación que se empleó.

CONCLUSIÓN

El mayor contenido de ácidos grasos se presentó en grasa de la marca B, debido a una mayor hidrólisis en las grasas. El contenido de peróxidos fue mayor en grasas de la marca A, mientras que en las grasas de la marca B no fueron detectadas, posiblemente por una mayor cantidad de grasas oxidadas. La densidad de las grasas de las dos marcas fue similar. El contenido de humedad fue en cantidades pequeñas en ambas muestras B y A. Los mejores parámetros de calidad fueron para las grasas recuperadas de los residuos de la marca A, ya que presentó una mayor recuperación de grasas, menor contenido de ácido grasos libre y una menor oxidación de las grasas, además de que no presentó olores desagradables característicos de una grasa rancia como lo fue con las grasas de la marca B. Se concluye entonces que se debe seguir investigando en la prueba de otros métodos de extracción que pudieran ser más eficientes, ya que se pudo observar que de un producto de desecho se puede obtener materia prima para algún subproducto y de esta manera dar vida útil a los residuos.

LITERATURA CITADA

1. Camacho JH, Cervantes F, Palacios MI, Cesín A, Ocampo J. 2017. Especialización de los sistemas productivos lecheros en México: la difusión del modelo tecnológico Holstein. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 8(3):259-268.

2. Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <https://www.fao.org/dairy-production-products/production/es/>. Fecha de recuperación: el 28 de marzo de 2024.
3. Gallegos C, Taddei C, González A. 2023. Panorama de la industria láctea en México. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional. 33(61).
4. Avilés R, Barrón OG, Gutiérrez AJ, Ruíz M. 2024. Principales sistemas de producción de leche de bovinos en México: recopilación actual de parámetros productivos, reproductivos y de manejo. Ciencias Veterinarias y Producción Animal. 1(2), 32-47.
5. Alonso FA, Rodríguez E. 2023. Caracterización de los sistemas de producción de leche en México. Entorno Ganadero. Agosto-Septiembre. Disponible en: <https://bmeditores.mx/secciones-especiales/factores-economicos-pecuarios/caracterizacion-de-los-sistemas-de-produccion-de-leche-en-mexico/> Fecha de recuperación: 14 de julio de 2024.
6. Barrón O, Avilés R, Ángel C, Alcalá J, Arispe J, Garza R. 2023. Caracterización de unidades de producción familiar de bovinos, Llera, Tamaulipas, México. Abanico Boletín Técnico. Enero-Diciembre: 1-21
7. Cámara Nacional de Industrias de la Leche (CANILEC, 2021). Estadísticas del Sector. Disponible en: <https://www.canilec.org.mx/estadisticas/> Fecha de recuperación: 5 de julio de 2024.
8. Gallegos C, Taddei C, González A. 2023. Panorama de la industria láctea en México. Revista de Alimentación y Desarrollo Regional. 33(61).

9. Ríos L, Torres M, Cantú E, Torres A, Navarrete C. 2016. Análisis económico de los sistemas de producción bovino lechero en el estado de Zacatecas, México. *Abanico Veterinario*. 6(2): 54-69.
10. Robledo R. Producción de leche en México y su comercio de lácteos con países del APEC. Disponible en: ru.iiec.unam.mx/3744/1/052-Robledo.pdf. Fecha de recuperación: 26 de marzo de 2024.
11. Guerrero W, Castilla P, Cárdenas K, Gómez C, Castro J. 2012. Degradación anaerobia de dos tipos de lactosuero en reactores de UASB. *Tecnología Química*. 32(1): 115-125.
12. Molina VM, Molina VP, Espinoza JJ, Contreras JG, López A. 2020. Viabilidad técnica y económica del uso de calentador comercial de agua a base de biogás en establos lecheros. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11(2): 391-403.
13. Generación de efluentes. Disponible en: <https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-lactea/> Fecha de recuperación: 14 de julio de 2024.
14. Armesto DF, García LA, Correa D, BelloJA. 2016. Biotratamientos de aguas residuales en la industria láctea. *Revista Unilasallista*. 11(1): 171-180.
15. Amador A, Veliz L, Bataller E, Venta M. 2015. Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones, *Revista CENIC*. 46: 1-10.
16. Informe y análisis de inventario anual de emisiones tóxicas de 2018. Disponible en: Ciencias Químicas <https://www.epa.gov/newsreleases/la-epa-publica-el-informe-y->

[análisis-de-inventario-anual-de-emisiones-toxicas-de-2018](#) Fecha de recuperación:

2 de julio de 2024.

17. Donado R. 2013. Plan de gestión para lodos generados en las PTAR-D de los municipios de Cumaral y San Martín de los llanos en el departamento del Meta. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10554/13496> Fecha de recuperación: 2 de julio de 2024.
18. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). 2023. Última reforma publicada DOF 08-05-2023 México, D.F. Disponible en: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf>
19. Cordero MG, Rodríguez DJ. 2017. Digestión aerobia de lodos biológicos de la planta de tratamiento de aguas residuales Sur. División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Durango.
20. Campos E, Bonmati A, Teira M, Flotats X. 2001. Aprovechamiento energético de lodos residuales y purines. Producción de biogás. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/251855102_APROVECHAMIENTO_ENERGETICO_DE_LODOS_RESIDUALES_Y_PURINES_PRODUCION_DE_BIOGAS Fecha de recuperación: 14 de julio de 2024.
21. Morales J. 2009. Aprovechamiento de lodos primarios provenientes del tratamiento de aguas residuales en una industria láctea por medio de la producción de concentrados para animales del sector porcícola y ganadero vacuno. Trabajo de grado Ingeniero Ambiental y Sanitario. Bogotá D.C: Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Ambiental. 175 p
22. Mazzile F, Spuhler D. 2018. Coagulation-Floculation.

- Disponible en: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/coagulaci%C3%B3n-y-floculaci%C3%B3n-y-separaci%C3%B3n> Fecha de recuperación: 14 de julio de 2024.
23. Rodríguez J, García A, Pardo J. 2015. Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. *Tecnura*, 19(46): 149-164.
24. Oñate CH, Chinchilla MA. 2021. Polielectrolito catiónico como coagulante empleado para remover aceites y grasas de aguas residuales de una industria láctea. *Tecnura*, 25(69): 120-130.
25. Calleja K. 2022. ¿Qué son los coagulantes y floculantes? Disponible en: <https://contyquim.com/blog/coagulante-y-floculante-en-el-tratamiento-de-aguas> Fecha de recuperación: 14 de julio de 2024.
26. Salazar T. 2014. Microbial activity in the aerobic composting process of organic solid waste. *Revista de Investigación Universitaria*. 3(2):74-84.
27. Villamil RA, Robelto GE, Mendoza MC, Guzmán MP, Cortés LY, Méndez CA, Giha V. 2020. Desarrollo de productos lácteos funcionales y sus implicaciones en la salud: Una revisión de literatura. *Revista Chilena de Nutrición*. 47(6): 1018-1028.
28. Federación Panamericana de lechería (FEPALE). 2017. Grasa láctea un nutriente diferente, por la Federación Panamericana de Lechería–FEPALE Disponible en: <https://www.revistafactordeexito.com/posts/6306/grasa-lactea-un-nutriente-diferente> Fecha de recuperación: 14 de julio de 2024
29. Golib C. 2022. ¿Qué son los ácidos grasos libres? Disponible en:

<https://www.centrobanamex.com.mx/que-son-los-acidos-grasos-libres> Fecha de recuperación: 20 de abril de 2024.

30. Norma Mexicana NMX-F-101-SCFI-2012 Alimentos – aceites y grasas vegetales o animales – determinación de ácidos grasos libres - método de prueba <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-f-101-scfi-2012.pdf>
31. Norma Mexicana NMX-F-075-1987 Alimentos – Aceites y grasas vegetales o animales – Determinación de la densidad relativa. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de marzo de 1987 <https://platiica.economia.gob.mx/normalizacion/nmx-f-075-scfi-2012/>
32. Palacios HO, Victoria RR, Cruz M, Osornio G. 2018. Técnicas físicas y químicas para la identificación de compuestos orgánicos. file:///C:/Users/JEFATU~1/AppData/Local/Temp/MicrosoftEdgeDownloads/3e72eeaf-e373-45b4-8875-47fb00864704/75860_348_prueba.pdf Fecha de recuperación: 14 de julio de 2024.
33. Norma mexicana alimentos – aceites y grasas vegetales o animales – determinación de color -método de prueba NMX-F-116-SCFI-2012 https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5268346&fecha=17/09/2012#gsc.tab=0
34. Determinación del índice de Titer, en aceites y grasas vegetales o animales. NMX-F-149-1970 [https://es.scribd.com/document/218552075/NMX-F-149-1970-Indice-de-Titer#:~:text=NMX %2DF %2D149 %2D1970,DIRECCIN %20GENERAL %20DE %20NORMAS.](https://es.scribd.com/document/218552075/NMX-F-149-1970-Indice-de-Titer#:~:text=NMX%2DF%2D149%2D1970,DIRECCIN%20GENERAL%20DE%20NORMAS.)

35. Fuentes A, Fuentes C. 2024. Determinación del índice de peróxidos en grasas comestibles. Manual Departamento de Tecnología de alimentos. Universitat Politècnica de Valencia. España.
36. Moreno SF. 2015. Temas Selectos de Bioquímica General; Lípidos. Material para uso educativo, no lucrativo. Disponible en: <https://dagus.unison.mx/smoreno/Temas%20Selectos%20de%20Bioqu%C3%ADmica%20General.pdf> Fecha de recuperación: 14 de julio de 2024.
37. Carvajal CC. 2019. Lípidos, lipoproteínas y aterogénesis, San José, Costa Rica. EDNASSS-CCSS. ISBN: 978-9968-916-78-3. Disponible en: <https://repositorio.binasss.sa.cr/server/api/core/bitstreams/4ed11ef9-bf63-4170-a35b-b9e8aa69d690/content> Fecha de recuperación: 14 de julio de 2024.

EL CILANTRO (*Coriandrum sativum* L.) Y SU VERSATILIDAD

THE CORIANDER (*Coriandrum sativum* L.) AND IT'S VERSATILITY

**María del Rosario Moncayo-Luján^{1, 2, 3, 4, *}, Raúl Antonio Alvarado-Arroyo^{1, 2, 3,}
⁴, Ramón Valenzuela-Soto¹, Diana Elizabeth Ramos-Santos¹, Miguel Ángel
Serrano García^{1, 2}**

¹Universidad Politécnica de Gómez Palacio. Carretera El Vergel-La Torreña Km 0820,

Localidad el Vergel, Gómez Palacio, Dgo.

²Miembro activo de la Red Académica de Innovación, Alimentación y Agricultura Sustentable
(RAIAAS) COECyT-CIESLAG.

³Miembro activo de la Red Iberoamericana de Academias de Investigación (REDIBA).

⁴Integrante de la Red Cadena Agroalimentaria. COCYTED. Durango.

*Autor para correspondencia: rmoncayo@upgop.edu.mx

RESUMEN

El cultivo de hortalizas en México es fundamental para la economía del país. Representa una parte significativa de las cosechas y se considera uno de los pilares de la industria agroalimentaria. Sin embargo, esta industria enfrenta diversos desafíos, como el cambio climático, la interrupción en las cadenas de suministro y la inflación. En particular, el cilantro es uno de los cultivos más apreciados en México. Se utiliza constantemente en diversos platillos, especialmente como sazónador. Su versatilidad en la cocina y sus beneficios

relevantes para la salud lo convierten en un recurso importante tanto para la investigación como para la producción agroindustrial. La producción de cilantro también se alinea con el segundo objetivo de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible proyectado por la Organización de las Naciones Unidas: “Hambre cero”. Además, está relacionada con el eje económico propuesto en el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 en México. Este capítulo aborda el manejo agronómico del cilantro, sus aplicaciones culinarias, industriales y en salud sus propiedades nutricionales, medicinales y antimicrobianas, y, por último, su comercialización, lo que demuestra que el cilantro es mucho más que un ingrediente de cocina.

Palabras clave: aceite esencial, alimentación, compuestos volátiles, plantas aromáticas, propiedades antimicrobianas.

ABSTRACT

Vegetable crops play a crucial role in the economy, representing the most important portion of agricultural output and serving as a cornerstone of Mexico's agri-food industry, which confronts challenges such as climate change, supply chains disruptions, and inflation. In Mexico, coriander is one of the most prized crops, extensively used in various dishes, particularly as a seasoning. Its versatility and potential applications underscore its importance in research, production, and the agri-industry. The coriander production not only provides substantial health benefits but also aligns with objective 2 of the 2030 Agenda for Sustainable Development-Zero hunger-projected by the United Nations Organization and

supports economic objectives outlined in Mexico's National Development Plan 2019-2024. This chapter explores agronomic practices, culinary and industrial uses, health benefits, and the commercialization significance of coriander, illustrating its broader impact beyond its role as a culinary ingredient.

Keywords: antimicrobial properties, aromatic plants, essential oil, feeding, volatile compounds.

Introducción

La necesidad de modificar los hábitos alimenticios se ha acentuado desde el inicio de la pandemia por el COVID-19. Priorizar una alimentación saludable implica ajustar los patrones de consumo hacia alimentos más seguros, obtenidos mediante prácticas responsables con el ambiente y ricos en nutrientes. No es complicado incorporar en la dieta una variedad de alimentos naturales, producidos sin el uso excesivo de plaguicidas ni sustancias químicas añadidas (1).

En este contexto, el consumo de vegetales, especialmente hortalizas y plantas aromáticas desempeña un papel fundamental. El cilantro con su distintivo aroma y sabor, es una planta culinaria apreciada y rechazada por igual en muchas partes del mundo. El cilantro es estimulante del apetito y reconocido remedio naturista, es una fuente importante de vitaminas A, B12, C y ácido fólico (2). La producción de cilantro a nivel internacional se alinea con las metas 1 y 4 del objetivo 2 "Hambre cero" de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas y con el eje de economía que se postula en el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 de México.

La alta incidencia de patógenos resistentes a los medicamentos ha propiciado volver la mirada a la actividad antimicrobiana de los productos naturales. En México el uso de plantas medicinales a través de la medicina tradicional es ancestral, y el uso de terapias complementarias que incluyen los remedios con plantas es una práctica común y continúa extendiéndose a nivel mundial. El objetivo de este capítulo es presentar una visión general relacionada con el cilantro y su importancia actual en los sectores sociales, salud y de producción.

Origen y distribución

El cilantro es una planta comestible, aromática anual, catalogada como hortaliza de hoja verde, de clase dicotiledónea de la familia Apiaceae y nativa de la región este del Mediterráneo (3), en el cuadro 1 se presenta su clasificación taxonómica. El cilantro ha sido usado por los seres humanos desde la antigüedad, hace unos 9000 años en Medio Oriente, desde donde se dispersó por Asia, África y Europa (4). Durante la colonización, en 1519, fue introducido en América Latina, más tarde, en 1670 los inmigrantes europeos lo introdujeron en Massachusetts, Estados Unidos (5).

Taxonomía

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del cilantro

Dominio	Eucariota
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Apiales
Familia	Apiaceae
Género	<i>Coriandrum</i>

Especie	<i>sativum</i> L.
---------	-------------------

Fuente: (6).

En la actualidad el cilantro se produce principalmente en la India, Marruecos, Bulgaria, Rumania, Canadá, China, Siria y México y también se cultiva en Europa, Medio Oriente, Norte de la India, Asia Menor y América, mientras que los principales países importadores son Malasia, Pakistán, Arabia Saudita, Emiratos Árabes Unidos e Inglaterra (3).

Descripción botánica

El sistema radical del cilantro es fino y sencillo; su raíz principal, es axonomorfa, muy delgada y altamente ramificada, por estas características es muy difícil su trasplante (Figura 1).



Figura 1. Planta de cilantro

Fuente: Propia

El tallo es dicotómico, delgado, cilíndrico, hueco, suave, herbáceo y erecto, llega a medir hasta 90 cm de altura. Las hojas son compuestas con dos tipos de folíolos; los inferiores son anchos, ovales y provistos de lóbulos dentados; los superiores están divididos en cuatro o cinco segmentos largos y estrechos. El color de las hojas es verde intenso, aunque en ocasiones puede ser verde-amarillo. La inflorescencia es una umbela compuesta, tiene flores hermafroditas y estaminadas, de color blanco o ligeramente rosado, pentámera. El fruto es un esquizocarpo de tres a cinco milímetros de diámetro, color amarillo oscuro, esférico, formado por dos pequeñas mitades semiesféricas acopladas una contra la otra (diaquenio) y tiene estrías que son pequeños conductos que contienen aceite esencial. Cada fruto contiene dos semillas aplanadas, de dos a tres milímetros de largo (7). Se recomienda dejar secar las semillas después de la cosecha, a la sombra, durante tres meses para que puedan germinar. Las semillas conservan su viabilidad entre seis y ocho años. Las flores del cilantro son pequeñas, tienen 5 pétalos de color blanco a rosado claro y se agrupan en una inflorescencia abierta que se ubica en lo alto de la planta (8).

Condiciones edafoclimáticas

El cilantro puede ser cultivado en muchos tipos de suelo, solo se requiere que sea moderadamente fértil, sin embargo, se ha observado que un suelo liviano, de arcilla o tierra arenosa y bien drenada proporciona mejores condiciones para el cultivo, y los niveles de humedad y nutrientes siempre deben ser monitoreados (9). Puede ser cultivado en un amplio rango de condiciones climáticas, tolerando incluso heladas ligeras; sin embargo, las temperaturas entre 10 y 30 °C, proveen las condiciones óptimas de crecimiento. El clima caluroso provoca que florezca

rápidamente y que el desarrollo de follaje prácticamente cese. Necesita entre 40 y 45 días para llegar a la cosecha (10).

Época de siembra y establecimiento del cultivo

El clima cálido es ideal para el cultivo del cilantro, y la primavera es la mejor época del año para sembrarlo, cuando hayan pasado los últimos frentes fríos del año. Las plantas de cilantro no viven todo el año y se pueden cultivar de forma sucesiva (11).

Las semillas se siembran con 5 cm de distancia entre sí, en filas que tengan una separación de 30 a 40 cm si se planea cosechar las hojas del cilantro. Si se van a cosechar las semillas, se deberán sembrar con 20 cm de separación en las hileras y con 40 cm de distancia entre sí. Para ambos usos, la profundidad en la siembra debe ser de 0.5 a 1.5 cm aproximadamente. Hay alrededor de 2000 semillas por cada 30 g, por lo que los horticultores caseros no compren muchas semillas en cada temporada (12).

Riego y fertilización

La cantidad de agua para el riego depende de las condiciones climáticas, el estado de desarrollo del cultivo y el tipo de suelo entre otras variables. Para conocer las necesidades de riego del cultivo se pueden usar sensores de humedad. Estudios recomiendan que el primer riego sea al momento de la siembra, después riegos ligeros cada 5 o 6 días. Después de los 20 días de la siembra, los riegos se aplican una vez por semana, para que sean de 6 a 11 riegos por ciclo. Es necesario tener en cuenta las condiciones ambientales para reajustar los riegos en caso necesario. Otros estudios recomiendan una lámina de riego de 350 mm para lograr altos rendimientos del follaje del cilantro. La cantidad

de fertilizantes a aplicar depende de la variedad del cilantro y de la cantidad de nutrimentos en el suelo y en el agua. Se recomienda llevar a cabo la fertilización en tres aplicaciones, la primera durante la siembra, aplicando el fósforo y el potasio; la segunda a los 35 días después de la siembra aplicando nitrógeno, y la tercera, 50 días después de la siembra aplicando nitrógeno (8). Debido a los requerimientos nutrimentales del cilantro (Cuadro 2), los fertilizantes más utilizados son el Salitre Potásico, Nitrato de Potasio, Súper Nitro, Nitro doble, Súper Fosfato Triple, Muriato de Potasio y Nitrato de Potasio (9).

Cuadro 2. Nutrimentos requeridos por el cultivo de cilantro

Nutriente	Dosis (kg/ha)	Aplicación	Fuente
Nitrógeno	60-100	Al menos en dos parcialidades durante el cultivo	Salitre Potásico Nitrato de Potasio Super Nitro Nitro doble
Fósforo	60-80	Incorporado en la última labor o al surco de siembra	Super Fosfato Triple
Potasio	80-100	Incorporado en la última labor o al surco de siembra junto con el fósforo	Muriato de Potasio Nitrato de Potasio

Numerosos estudios indican que la fertilización química proporciona nutrientes que son aprovechados más rápido por las plantas, pero el uso continuo impacta de manera negativa a la rizosfera del suelo y acidifica o aumenta la salinidad del mismo, por lo que se han utilizado abonos orgánicos ya que se agregan minerales, mejora la estructura del suelo, la aireación, se retiene mayor cantidad de humedad y se mejora la penetración de las raíces, entre otros beneficios (8).

En la actualidad se buscan soluciones que mitiguen el impacto ambiental, se han hecho estudios utilizando algas marinas como fertilizantes debido a la cantidad de nutrientes que pueden proporcionar a la planta, como carbohidratos, fosfatos y compuestos nitrogenados, motivo por el que se considera una buena opción para mejorar a gran escala la producción agrícola (13).

Control Fitosanitario

Maleza

Las malezas son especies vegetales o partes de las mismas que afectan los intereses del hombre en un lugar y tiempo determinados. Algunas de las malezas encontradas en los cultivos de cilantro en México son *Rottboellia cochinchinensis*, *Cuscuta* spp., y *Urochloa panicoides* (14) y es necesario mantener a la planta libre de ellas, ya que compiten por el suelo, la luz solar, los nutrientes y el agua (15). Para controlar la maleza en el cultivo del cilantro se hacen dos deshierbes manuales, el primero a los 35 días después de la siembra y el segundo a los 7 días después del primero (8). Tradicionalmente se ha hecho uso de herbicidas químicos como Gesagard 50®, DUAL® GOLD 960 EC (12).

Enfermedades

Se conocen muy pocos agentes biológicos que dañan el cultivo del cilantro. Por alta humedad se podrían presentar hongos en la planta, como *Cercospora* spp., *Collectotrichum* spp., que se pueden controlar con aplicaciones de Manzeb 80 WP y Antracol®70 WP (16), sin embargo, la más importante es la mancha bacteriana causada por *Pseudomonas syringae* (Figura 2). Esta bacteria produce lesiones que consisten en venas delimitadas y angulares de la hoja, al principio están en forma de hojas translúcidas y más adelante las manchas se vuelven de color negro o café (17). Su control se lleva a cabo mediante la aplicación de oxiclورو de cobre (Oxicob 85) cuando derivado del muestreo se detecte un porcentaje de marchitez bacteriana superior al 5 % (14).



Figura 2. Mancha bacteriana del cilantro (*Pseudomonas syringae*pv. *coriandricola*)
Fuente: (17)

Existe una línea de productos de nueva generación como el gluconato de cobre que puede ser combinado con extractos vegetales como la planta cola de caballo (*Equisetum arvense* L.) es, que secan y detienen la infección y no causan

daños en los cultivos, son amigables con el ambiente y con la salud de las personas que mantienen contacto con ellos (18).

Plagas

Las plagas más comunes (Figura 3), son insectos como el gusano soldado de betabel (*Spodoptera exigua*) (Figura 3a) (19) que puede controlarse mediante la aplicación de InsectProtect-Bt, SEVIN ® 80 % pH. El gusano de la col (*Trichoplusia ni*) (Figura 3b) (20) que puede controlarse con aplicaciones de aceite de Neem, Insect Protect-Bt, y GF-120® . El cultivo de cilantro también es atacado por pulgones como el pulgón verde duraznero (*Myzus persicae*) (Figura 3c) (21) que puede ser controlado con aceite de Neem, Insect Protect-Bt, Pyrethrin y ZADIRECT 1.2 CE (12).

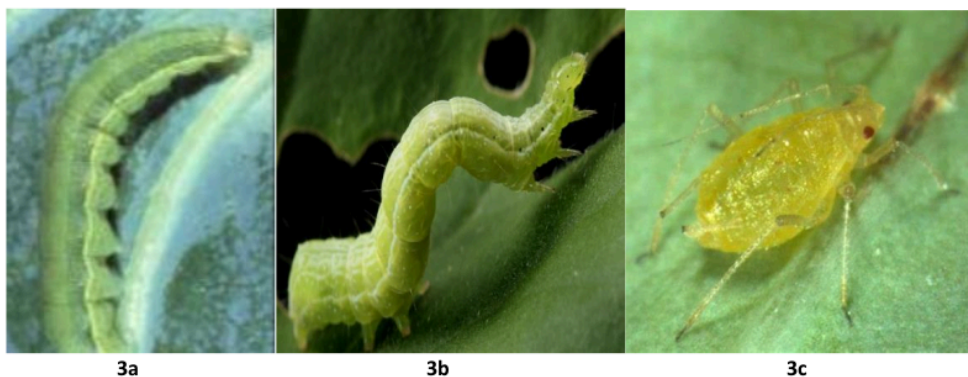


Figura 3. Plagas más comunes del cilantro.

Fuente: 3a (19), 3b (20), 3c (21).

Cosecha

Las hojas de cilantro pueden cosecharse de 45 a 70 días después de la siembra, cuando alcancen de 25 a 30 cm de altura, deben ser de color verde intenso y no debe estar punteado. Si se desea cortar la planta entera, el corte se hace de 3 a 5 cm por encima del nivel del suelo, para aprovechar todas las hojas tanto las

grandes como las pequeñas (12). Para evitar la deshidratación, la cosecha se hace por la mañana o por la tarde después se hacen manojos de 2 a 3 cm de diámetro y se acomodan en cajas de 9 o 20 kg para su transportarlas a su destino.

Usos culinarios

El uso del cilantro es tradicional en las cocinas de muchos países, especialmente de algunos países árabes y de América Latina, India, China, Vietnam y Tailandia. Su sabor y aroma son fácilmente reconocibles, tiene toques cítricos, picantes y algo jabonosos muy marcados, por lo que a veces es rechazado, pero se agrega a multitud de platillos.

Se puede consumir toda la planta incluyendo las raíces, aunque en la cocina se utilizan más las hojas y las semillas. Las semillas molidas forman parte mezclas de especias como el curry, el *massala* (mezcla de hierbas y especias características de la cocina de la India), o el *ras el hanout* (mezcla de especias típicas de la cocina de Oriente Medio). Las hojas son ingredientes indispensables de elaboraciones como el ceviche peruano, el guacamole mexicano, el mojo verde canario y muchos guisos y sopas de Portugal (22).

El cilantro es muy utilizado en la cocina mexicana, principalmente las hojas y los tallos. Las hojas frescas se usan para dar sabor a carnes, ensaladas, caldos, arroz y para decorar los platillos (Figura 4).



Figura 4. Hoja, semilla y flor de cilantro
Fuente: (23).

Valor nutricional

El aporte nutrimental por cada 100 g de las hojas de cilantro crudo es: 0 mg de colesterol y 0.52 g de grasa, aportan 23 kcal, 3.7 g de carbohidratos, 2.8 g de fibra, 2.13 g de proteína, 46 mg de sodio, y 92.21 g de agua. Además, contiene vitaminas como: Vitamina A (6748 mg), Vitamina B-9 (62 mg) o Vitamina K (310.0 µg) (24).

Propiedades medicinales

Según Bhatet *al.* (25), la semilla del cilantro es un recurso subutilizado, ya que contiene un aceite con propiedades medicinales tales como antimicrobiales, antioxidantes, antidiabéticas, anti epilépticas, anti muta génicas, antiinflamatorias y anti hipertensivas, enfermedades del tracto respiratorio, urinario y digestivo, entre otras debido a los compuestos bioactivos que contiene. El aceite de cilantro puede ser consumido como alimento por adultos sanos en una dosis de hasta por 600 mg por día (26). El aceite esencial se encuentra en las semillas, hojas, tallos, flores, frutos, raíces y cortezas. El mayor constituyente es el linalool; además, contiene limoneno, α -pineno, canfeno, acetato de geranilo, acetato de linalilo, geraniol, terpinen-4-ol, α -terpineol, c-terpinterpinene, mirceno y alcanfor (27).

El aceite obtenido del fruto tiene alto contenido de ácido petroselinico, ácido linoleico y ácido oleico. A partir del ácido petroselinico se pueden producir ácidos grasos de cadena media, como el ácido láurico que se utiliza en la producción de jabón y el ácido adípico en la producción de plásticos (3).

Actividad antimicrobiana del *C. sativum*

El tratamiento de las enfermedades bacterianas se encuentra en riesgo por la resistencia que han creado las bacterias frente a los fármacos antimicrobianos convencionales, ocasionando un fracaso en los tratamientos y un alza en las tasas de morbilidad y mortalidad. Esta situación afecta negativamente la salud de la población a nivel mundial, por lo que se está trabajando con una serie de actividades, en muchos países, para hacer frente a esta problemática y mejorar el estado de salud de la población (28).

Los antimicrobianos son fármacos que actúan sobre microorganismos como las bacterias, inhibiendo su crecimiento o destruyéndolas. Sin embargo, el empleo de antimicrobianos o antibióticos estimula a las bacterias a evolucionar y mutar al estar en contacto con ellos, ocasionando la resistencia antimicrobiana, haciendo que estos fármacos sean ineficaces frente a las bacterias. Asimismo, enfermedades mortales como la tuberculosis, septicemia o enfermedades de intoxicación alimentaria se han vuelto una amenaza en cuanto a su tratamiento, porque los agentes antibacterianos ya no presentan eficacia frente a los microorganismos causantes de dichas infecciones. Todo ello ocasiona fuertes impactos en el paciente, en el área asistencial y económico, con un aumento de admisiones prolongadas hospitalarias y uso de medicamentos de segunda línea con mayor costo (29).

Organismos internacionales como la OMS han informado que el uso inapropiado y excesivo de diferentes fármacos antimicrobianos en el campo de atención de la salud y en la industria agrícola, son causas principales del surgimiento de la resistencia a los fármacos antimicrobianos, siendo *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* las bacterias que han presentado genes de resistencia (30). La actividad antimicrobiana de los aceites esenciales (AE) o extractos naturales de los productos naturales han mostrado el potencial de las plantas como fuente de agentes antimicrobianos.

El aceite esencial del *C. sativum* contiene diferentes moléculas, como el cineol, el borneol, el canfeno, el citranelol, el coriandrol y el geraniol, entre otros, que son importantes porque se han demostrado sus efectos antimicrobianos, antioxidantes, antiinflamatorios, anticancerígenos y antiespasmódicos (31, 32).

Aunque se han realizado estudios químicos y farmacológicos de los aceites esenciales de *C. sativum*, la mayoría de éstos han utilizado principalmente las semillas y frutos de la planta. Sin embargo, los estudios farmacológicos sobre hojas de cilantro, la parte más consumida por los humanos, son limitados. Al mismo tiempo, los estudios disponibles han evaluado la actividad antimicrobiana contra pocos microorganismos y, aún menos, han utilizado aislados clínicos humanos (33).

Se ha demostrado que los aceites esenciales de *C. sativum* tienen capacidad para inhibir el crecimiento de varios géneros de bacterias Gram positivas y Gram negativas, mostrando actividad antibacteriana; los estudios se centraron en buscar dicho efecto de esta planta, en hojas, semillas y tallos del mismo (34); cabe mencionar que estas partes pueden actuar sobre el sistema

digestivo facilitando la digestión y aliviando el estreñimiento, también es eficaz contra cólicos y flatulencias, por lo mencionado se puede afirmar que el cilantro posee gran importancia dentro de la alimentación y como parte de la medicina tradicional (35).

El aceite del cilantro tiene actividad antibacteriana contra casi todas las bacterias excepto *Bacillus cereus* y *Enterococcus faecalis*, además el extracto etanólico de tallo de cilantro produce una mayor inhibición en el crecimiento de *B. subtilis* y *E. coli* (36). La actividad antibacteriana del cilantro se origina en sus constituyentes, especialmente linalool. Se ha reportado que el linalool altera la integridad estructural de las bacterias gram positivas y gram negativas con un aumento en la permeabilidad de la membrana y la consiguiente pérdida de constituyentes celulares.

Se han propuesto varios mecanismos para subyacer a la actividad antibacteriana del linalool. Otros componentes detectados son el α -pineno, alcanfor, γ -terpineno, acetato de geranilo, D-limoneno que también tienen efectos antibacterianos. Al igual que otros monoterpenos, se difunden en las estructuras de la membrana causando un aumento de la permeabilidad de la membrana, daño de las proteínas de la membrana y alteración de la respiración celular y el transporte de iones. Con respecto al aceite esencial de cilantro, se encontró que causa daño a la membrana y permeabilización, pérdida de potencial de membrana, bomba de eflujo y actividades respiratorias en especies Gram positivas y Gram negativas (37).

Situación comercial del cilantro

Además de su valor nutricional e importancia funcional, los productos agrícolas mexicanos incluido el cilantro, son muy buscados en el mercado de Estados Unidos (EE. UU.), para su consumo fresco, fomentando las relaciones comerciales entre ambos países. Estos alimentos también deben cumplir con los requisitos de calidad y seguridad del mercado que determinan su aceptación o rechazo. En ambos casos, las implicaciones económicas crean incertidumbre e inestabilidad para los operadores del sistema de producción al planificar los ciclos de producción. Según el Servicio de Comercio Electrónico en la Ciudad de México, México produjo 99,754 toneladas de cilantro en 2019, equivalente a una siembra anual de 1,704 hectáreas, con un valor de producción de 362,696.35 pesos. En el mismo año, Puebla se ubicó en el primer lugar nacional de producción de cilantro, con 29,355.98 toneladas anuales, de las cuales aproximadamente 22,000 toneladas fueron destinados para exportación al mercado de los Estados Unidos (38,39); por lo cual, esta hortaliza representa uno de los nueve Sistemas Producto más importantes a nivel estatal.

La importancia económica del cilantro hace relevante la problemática generada en torno a su comercialización restringida a los Estados Unidos desde el 2014. Esta situación se debió a que la Agencia reguladora de los Estados Unidos de América la *Food and Drug Administration* (FDA) encontró relación entre los brotes consecutivos de padecimientos gastrointestinales por ciclosporiasis en México y las condiciones inadecuadas de manejo e higiene de los sitios de cultivo y empaque de cilantro producido en el estado de Puebla. De acuerdo a esto, se determinó que dichas condiciones afectaban la inocuidad del producto.

A partir de lo anterior, se implementó la Alerta de Importación 24-23 (2014), impidiendo el ingreso del cilantro poblano al mercado de EUA durante el periodo de abril-agosto de cada año (40). De esta manera se propició que la producción generada en el Estado de Puebla se destinara al consumo nacional. La alerta de importación afectó el escenario rural mexicano, el cual se ha visto limitado por factores ambientales, políticos, sociales y económicos.

Por otro lado, además de la alta producción de cilantro detectada en el estado de Puebla, se ha reportado que, durante el año agrícola de 2022 – 2023, otros tres estados de la República Mexicana destacan en la producción de cilantro. Estos estados son Campeche, Chiapas y Yucatán. Al detalle se ha reportado que en Campeche se produjeron 155.77 toneladas de cilantro con un valor de 622.68 mil pesos; en Chiapas se produjeron 162.4 toneladas de cilantro con 833.15 mil pesos de ingreso; y en Yucatán se produjeron 91.8 toneladas de cilantro, recabando 470.95 mil pesos (41).

En particular, es importante determinar el impacto sobre los principales actores del sistema de producción de cilantro (productores, cosechadores y empacadores) quienes se dedican principalmente a la producción, empaque y comercialización del cilantro exportado a Estados Unidos. La importancia de garantizar el acceso a alimentos seguros y saludables reduce la incidencia de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA), que, además de afectar la salud de los consumidores, tienen consecuencias negativas para las economías de los países en desarrollo. Según la nueva norma de Exportación de Alimentos Frescos a Estados Unidos (42), garantizar la inocuidad de los alimentos exportados

promueve el comercio internacional, lo que contribuye al crecimiento económico en algunos países (43).

En relación a esto, se ha confirmado que en la comercialización de semillas de cilantro generó un total de 288 millones de dólares en el mundo en 2022. Así también, entre 2021 y 2022 las exportaciones de semillas de cilantro crecieron en 10.3 %, recabando 261 millones de dólares en el primer año y 288 millones de dólares en el segundo año a nivel mundial. Los principales exportadores fueron India, Rusia, Italia, Bulgaria y Marruecos, y los principales importadores fueron India, Malasia, Indonesia, Estados Unidos, y Reino Unido (44).

CONCLUSIÓN

Los productos agrícolas mexicanos son ampliamente demandados por el mercado por su importancia nutricional, funcional y su consumo en fresco, incluyendo el cilantro que, aun cuando compite en usos gastronómicos con otras especies consideradas “exóticas”, la versatilidad de sus usos y el potencial de los mismos, le confieren un lugar importante en investigaciones, producción y en la agroindustria.

LITERATURA CITADA

1. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). La alimentación saludable y sostenible debe cobrar sentido de urgencia. p. 1. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/la-alimentacion-saludable-y-sostenible-debe-cobrar-sentido-de-urgencia?idiom=es>

2. Leyva-Abascal L, Luna-Guevara ML, López-Olguín JF, Juárez-Ramón D, Ortega Y. 2023. Cultivo, cosecha y postcosecha en el sistema productivo cilantro (*Coriandrum sativum* L.). Agricultura, Sociedad y Desarrollo. 20(3):1. Disponible en: <https://www.revista-asyd.org/index.php/asyd/article/view/1549>
3. Guzmán SH, Villalobos S, Escobedo D, González E. 2018. Componentes agronómicos y diversidad en el patrón de ácidos grasos en líneas avanzadas de cilantro. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas; 9(7):1–2. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342018000701459&script=sci_abstract
4. Comité Estatal de Sanidad vegetal del Estado de Puebla (CESAVEP).2021. Manejo Fitosanitario del Cilantro. p. 1. Disponible en: http://www.cesavep.org/campanias/MFCIL/mfcil_int.html
5. Franco MT. 1996. El Mundo Huasteco y Totonaco. México Desconocido, editor. Editorial Jilguero.87pp.
6. Charles Darwin Foundation. 2024 "Galapagos Species Database, *Coriandrum sativum*", data Zone. p. 1 *Coriandrum sativum* L. Disponible en: <https://datazone.darwinfoundation.org/es/checklist/?species=804>
7. Hernández J. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. División de estudios de posgrado. 2003. Crecimiento y Desarrollo del Cilantro *Coriandrum sativum* L. por efecto del fotoperiodo y la temperatura y su control con fitoreguladores. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/5784/1/1020148421.PDF>
8. Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura (INTAGRI). 2024. Artículos Técnicos. Serie Hortalizas. Núm. 27. El cultivo del cilantro. p 4.

Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/el-cultivo-de-cilantro>

9. Kher E, Tropa S, Martínez-Lagos J. 2024. Aspectos generales para el cultivo del cilantro (*Coriandrum sativum* L.). Osorno, Chile: Informativo INIA Remehue. no. 146. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/4781>
10. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).2023. Cilantro. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/838418/Cilantro_monografi_a_2023.pdf
11. Proyecto para el análisis y la conciencia de la vegetación urbana (PLANTOT). 2007. Manual de Siembra y aprovechamiento del Cilantro. Barcelona. España.; Disponible en: www.jstk.org.
12. Masbani J, Lillard P. 2014. Cilantro. Texas A&M Agri Life Extension Service. Disponible en: <https://aggie-horticulture.tamu.edu/wp-content/uploads/sites/10/2013/09/EHT-032S-cilantro.pdf>
13. Sandoval S, Villorín T, González M. 2017. Estudio comparativo de un fertilizante algal, a partir de la especie *Caulerpa sertularoides* respecto a un fertilizante químico y orgánico comercial, en un cultivo de *Coriandrum sativum*. Revista de Investigación Universidad Pedagógica Experimental Libertador Venezuela. 41: 84–5. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1010-29142017000100007&lng=pt&nrm=iso

14. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2017. Programa de trabajo del manejo fitosanitario de cilantro del incentivo de prevención de plagas fitosanitarias reglamentadas del programa de sanidad e inocuidad agroalimentaria 2017 del Estado de Puebla, México. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/303524/Manejo_fitosanitario_del_cilantro.pdf
15. Torres-Valencia N, Miranda-Arámbula M, Ríos-Cortés AM, López-Gayou F, López-Valdez F. 2021. Las malezas como un campo de oportunidades en el estudio de la síntesis verde. IPN Revista Frontera Biotecnológica; 5–6. Disponible en: <https://www.revistafronterabiotecnologica.cibatlaxcala.ipn.mx/volumen/vol18/pdf/vol-18-1.pdf>
16. Ozuna G. 2015. Crecimiento y Desarrollo del Cilantro *Coriandrum sativum* L. por efecto del fotoperiodo y la temperatura y su control con fitorreguladores. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6131/63219%20OZUNA%20HINOJOSA,%20GUSTAVO%20TESIS.pdf?sequence=1>
17. Cortes DR, Ruiz XG. 2021. Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Puebla (CESAVEP). Control fitosanitario en hortalizas y alternativas orgánicas. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/677758/7__Seminario_Control_fitosanitario_en_Hortalizas_y_alternativas_org_nicas.pdf

18. Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura (INTAGRI). 2015. Artículos Técnicos. Solución a problemas de mancha bacteriana en hortalizas. p1. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/solucion-problemas-mancha-bacteriana-hortalizas>
19. Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2021. Ficha Técnica. *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: noctuidae). Gusano soldado. México. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/633036/Gusano_soldado__spodoptera_exigua.pdf
20. Reyes C. 2015. Gusano falso medidor –*Trichoplusiani*. Panorama Agro.com Revista de Agricultura.p1. Disponible en: <https://panorama-agro.com/?p=1709>
21. Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2021. Artículos científicos. Susceptibilidad de cultivares de berenjena a *Myzus persicae*. p1. Disponible en: <https://prod.senasica.gob.mx/ALERTAS/inicio/pages/single.php?noticia=6674#>
22. Baticón S. 2020. Cilantro, o lo amas o lo odias. Disponible en: <https://www.hola.com/cocina/noticiaslibros/20201019177361/cilantro-recetas-propiedades/>
23. López MD, Pascual-Villalobos MJ. Información Técnica Agrícola (InfoAgro). 2010. El coriandro (cilantro), un cultivo alternativo para la producción de aceites. Disponible en:

[https://www.infoagro.com/documentos/el_coriandro__cilantro__un_cultivo_alternativo_produccion_aceites.asp#:~:text=El %20Coriandro %20es %20un %20cultivo %20que %20se %20caracteriza %20por %20ser,6 %20 %25 %20del %20peso %20del %20fruto.](https://www.infoagro.com/documentos/el_coriandro__cilantro__un_cultivo_alternativo_produccion_aceites.asp#:~:text=El%20Coriandro%20es%20un%20cultivo%20que%20se%20caracteriza%20por%20ser,6%20%25%20del%20peso%20del%20fruto.)

24. Todo alimentos. Tabla Nutricional: Culantro (cilantro) hojas, crudo.
Disponible en: <https://www.todoalimentos.org/culantro-cilantro-hojas-crudo/>
25. Bhat S, Kaushal P, Kaur M, Sharma HK. 2014. Coriander (*Coriandrum sativum* L.): Processing, nutritional and functional aspects. African Journal of Plant Science. 8(1):25–33.
26. EFSA NDA Panel (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies), 2013. Scientific Opinion on the safety of “coriander seed oil” as a Novel Food ingredient. EFSA Journal; 11(10):3422. doi:10.2903/j.efsa.2013.342227. Torres-Cabra E, Lagos-López MI 2019. Evaluación del aceite esencial de cilantro (*Coriandrum sativum* L.) sobre el ácaro rojo de aves *Dermanyssus gallinae* (De Geer, 1778) (Acari: Dermanyssidae) bajo condiciones de laboratorio. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 20(1):53-68.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num1_art:1249
28. Rocha C, Reynolds S, Simons M. 2016. Resistencia emergente a los antibióticos: una amenaza global y un problema crítico en el cuidado de la salud. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*. 32(1):139-145. doi:10.17843/rpmpesp.2015.321.1586

29. Organización Mundial de la Salud. 2020. Resistencia a los antibióticos. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/resistencia-a-los-antibióticos>
30. Organización Mundial de la Salud. 2014. El primer informe mundial de la OMS sobre la resistencia a los antibióticos pone de manifiesto una grave amenaza para la salud pública en todo el mundo. Disponible en: <https://www.who.int/es/news/item/30-04-2014-who-s-first-global-report-on-antibiotic-resistance-reveals-serious-worldwide-threat-to-public-health>
31. Ardilla MI, Vargas AF, Pérez JE, Mejía L. F. 2009. Ensayo preliminar de la actividad antibacteriana de extractos de *Allium sativum*, *Coriandrum sativum*, *Eugenia caryophyllata*, *Origanum vulgare*, *Rosmarinus officinalis* y *Thymus vulgaris* frente a *Clostridium perfringens*. Biosalud, 8(1): 47-57.
32. Ceballos M, Giraldo I. 2011. El cilantro (*Coriandrum sativum* L.) como fuente potencial de antioxidantes naturales. Vector. 6: 85-93.
33. Rodríguez J, Méndez R, Gutiérrez R, Reyes C. 2021. Evaluación del efecto antibacteriano del extracto de cilantro (*Coriandrum sativum*) sobre bacterias patógenas gastrointestinales. II Seminario de Investigación en Economía: Sustentabilidad y Nanotecnología. Memoria Universitaria. (2):1-10 Disponible en: <https://revistas.uaz.edu.mx/index.php/MemUni/article/view/1290/1059>
34. Ardila I, Vargas F, Pérez E, Mejía F. 2010. Ensayo preliminar de la actividad antibacteriana de extractos de *Allium sativum*, *Coriandrum sativum*, *Eugenia caryophyllata*, *Origanum vulgare*, *Rosmarinus officinalis* y *Thymus vulgaris* frente a *Clostridium perfringens*. Biosalud, 8(1), 37-46.

35. Monreal A. 2019. Cilantro: La hierba con múltiples beneficios para tu salud. Disponible en: <https://nidux-stores.s3.amazonaws.com/11063/cilantro-1.pdf.pdf>
36. Kumar S. 2018. Medicinal importance of coriander (*Coriandrum sativum* L.). International Journal of Creative Research Thoughts. 6(1):2320-2882.
37. Aelenei P, Rimbu CM, Guguianu E, Dimitriu G, Aprotosoiaie AC, Brebu M, Horhoge CE, Miron, A. 2019. Coriander essential oil and linalool – interactions with antibiotics against Gram-positive and Gram-negative bacteria. *Letters in Applied Microbiology*. 68(2): 156-164. doi:10.1111/LAM.13100
38. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). Representación Agricultura Puebla. 2017. Puebla con amplias posibilidades de incrementar exportaciones de hortalizas.
39. Tibaduiza-Roa V, Huerta-de la Peña A, Morales-Jiménez J, Hernández-Anguiano AM, Muñoz-Reyes É. 2018. Sistema de producción de cilantro en Puebla y su impacto en la inocuidad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9(4):773–86.
40. Food and Drug Administration - United States (FDA-U.S.). 2024. Import Alert 24-23. Detention without physical examination of fresh cilantro from the state of Puebla, Mexico. Disponible en: https://www.accessdata.fda.gov/cms_ia/importalert_1148.html
41. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2023. Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Temporal Tecnificado, Año Agrícola 2022-2023 Ciudad de México. Disponible

en:<https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EADT T %202022-2023.pdf>

42. Food and Drug Administration (FDA), Department of Health and Human Services (DHHS). 2015. Standards for the growing, harvesting, packing, and holding of produce for human consumption. Disponible en: https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=32543950fdc119dc921dc1beef429a4d&mc=true&tpl=/ecfrbrowse/Title21/21cfr112_main_02.tpl
43. Organización de las Naciones Unidas por la Alimentación y la Agricultura/Organización Mundial de la Salud (FAO/OMS). 2003. Garantía de la inocuidad y calidad de los alimentos: Directrices para el fortalecimiento de los sistemas nacionales de control de los alimentos. Alimentación y Nutrición. Disponible en: <https://www.fao.org/4/y8705s/y8705s00.htm>
44. Daawheel, Center of Collective Learning. OEC. 2024. Semillas de cilantro (HS:): Comercio, Exportadores e Importadores | Observatorio de Complejidad Económica. Disponible en: <https://oec.world/es/profile/hs/coriander-seeds>

**CARACTERÍSTICAS, BENEFICIOS Y APLICACIONES DE ACEITES
ESENCIALES DE ORÉGANO (*Lippia Graveolens*) PARA SU
COMERCIALIZACIÓN Y EXPORTACIÓN**

**CHARACTERISTICS, BENEFITS AND APPLICATIONS OF
OREGANO ESSENTIAL OILS (*Lippia graveolens*) FOR
MARKETING AND EXPORT**

**Diana Maricela Rubio-Espino^{1*}, Michel Esparza-Márquez¹, Jazmín Montserrat
Gaucín-Delgado¹, Rebeca Sandoval-Chávez¹, María Teresa de-la-Torre-
Villegas¹**

¹Universidad Politécnica de Gómez Palacio. Carretera El Vergel – La Torreña, Km. 0 820,
Localidad El Vergel, Gómez Palacio, Durango, México.

***Autor para correspondencia: drubio@upgop.edu.mx**

RESUMEN

En México, el orégano (*Lippia graveolens* L.) se cultiva tradicionalmente para comercializar sus hojas como condimento y antioxidante en alimentos procesados. Sin embargo, su aceite esencial —rico en carvacrol (50-80 %) y timol (5-15 %) posee propiedades subutilizadas, como actividad antibacteriana frente a cepas de *Staphylococcus aureus* (90 % de inhibición) y *Streptococcus pyogenes* (85 %),

además de efectos antifúngicos contra *Candida albicans*. La extracción de este aceite representa una innovación frente al uso convencional de las hojas, ya que concentra 20 veces más compuestos bioactivos. Su procesamiento mediante destilación al vapor —con un rendimiento del 2-4 % por peso seco— podría generar un valor agregado del 300 % frente a la hoja seca. México, segundo productor mundial de *L. graveolens*, tiene potencial para exportar aceite esencial a mercados como EE.UU. y la UE, donde la demanda crece al 8.6 % anual. Para aprovechar esta oportunidad, se requieren estrategias de estandarización de calidad y certificaciones orgánicas que diferencien el producto mexicano.

Palabras clave: Aceite esencial, Carvacrol, Antimicrobiano.

ABSTRACT

In Mexico, oregano (*Lippia graveolens* L.) is traditionally cultivated for its leaves as a condiment and antioxidant in processed foods. However, its essential oil—rich in carvacrol (50-80 %) and thymol (5-15 %)—has underutilized properties, such as antibacterial activity against *Staphylococcus aureus* strains (90 % inhibition) and *Streptococcus pyogenes* (85 %), as well as antifungal effects against *Candida albicans*. The extraction of this oil represents an innovation compared to the conventional use of the leaves, as it concentrates 20 times more bioactive compounds. Processing it by steam distillation—with a yield of 2-4 % by dry weight—could generate an added value of 300 % compared to the dried leaf. Mexico, the world's second-largest producer of *L. graveolens*, has the potential to export essential oil to markets such as the US and the EU, where demand is

growing at 8.6 % annually. To take advantage of this opportunity, quality standardization strategies and organic certifications are needed to differentiate Mexican products.

Key Words: Essential oil, Carvacrol, Antimicrobial.

Introducción

L. graveolens una especie aromática de relevancia global, reconocida por su versatilidad en aplicaciones industriales que abarcan desde la gastronomía hasta la farmacéutica y la cosmética. Su valor radica en un perfil químico único, dominado por compuestos bioactivos como el carvacrol (50-80 % del aceite esencial) y el timol (5-15 %), responsables directos de sus propiedades antioxidantes, antibacterianas y antiinflamatorias (1). México se posiciona como el segundo productor mundial de *L. graveolens*, aportando aproximadamente el 15 % del suministro global, con una producción anual estimada en 4,000 toneladas (2). Estudios recientes demuestran que estos terpenos exhiben una eficacia del 90 % contra patógenos comunes como *Staphylococcus aureus*, lo que explica su creciente uso como alternativa a los conservantes sintéticos en la industria alimentaria (3).

Las regiones áridas del norte del país como Coahuila y Nuevo León son ideales para su crecimiento, ya que las condiciones climáticas extremas incrementan la concentración de aceites esenciales hasta un 20 % en comparación con variedades mediterráneas (2, 5). Esta ventaja competitiva ha impulsado su demanda en mercados especializados, particularmente en Europa y

Estados Unidos, donde se valora su calidad superior para la elaboración de productos orgánicos). El potencial económico del aceite de orégano mexicano es innegable. Según Global MarketInsights, el mercado global de aceites esenciales crecerá a una tasa anual compuesta (CAGR) del 8.6 % entre 2019 y 2025, superando los 13 mil millones de dólares en 2024. Empresas líderes como Firmenich y Young Living ya han incorporado *L. graveolens* en sus líneas de aromaterapia y nutraceuticos (4). Para los productores locales, esto representa una oportunidad estratégica, dado los bajos costos de producción (30 % menores que en Europa) y la creciente preferencia por ingredientes naturales (6).

Por lo que, *L. graveolens* no solo es un recurso biológico valioso, sino también un motor para el desarrollo económico de México, siempre que se implementen estándares de calidad y estrategias de comercialización alineadas con las tendencias internacionales (1, 4).

Generalidades del orégano mexicano

El orégano mexicano pertenece a la familia Verbenaceae (no Labiaceae) y se distingue por ser un arbusto perenne que alcanza hasta 3 m de altura en condiciones áridas (7). A diferencia de *O. vulgare* (orégano mediterráneo), su aceite esencial contiene un 60-80 % de carvacrol y 5-15 % de timol, compuestos responsables de su aroma intenso y propiedades bioactivas (8).

Tradicionalmente, las comunidades rurales de México lo han empleado en etnomedicina para tratar:

- Infecciones respiratorias (inhibición del 90 % contra *S. pneumoniae*) (9),
- Trastornos digestivos (aumento del 40 % en la secreción de enzimas gástricas en modelos *in vivo*) (8),

- Dolor inflamatorio (reducción del 58 % en edema en ratas con artritis) (9).

Estos efectos se atribuyen a su aceite esencial, que representa el 2-4 % del peso seco de las hojas y exhibe actividad antimicrobiana de amplio espectro (10). Por ejemplo, ensayos clínicos demuestran que concentraciones de $0.5 \text{ mg} \bullet \text{mL}^{-1}$ inhiben el crecimiento de *E. coli* y *C. albicans* en un 95 % (11).

Aceites esenciales: Composición y Aplicaciones

Los aceites esenciales son mezclas volátiles de metabolitos secundarios vegetales, caracterizados por su baja masa molecular ($<300 \text{ Da}$) y alta presión de vapor ($0.01\text{--}0.03 \text{ kPa}$ a 25°C), lo que facilita su evaporación (12). Se sintetizan en estructuras glandulares especializadas ubicadas en hojas (tricomas de *L. graveolens*), flores (nectarios de *Lavandula*), cortezas (*Cinnamomumzey lanicum*) o raíces (*Valeriana officinalis*) (13).

Químicamente, el 90 % de estos aceites están constituidos por:

- **Terpenos** (70-95 %): Monoterpenos (C_{10} , ej.: limoneno) y sesquiterpenos (C_{15} , β -cariofileno) con estructuras acíclicas, mono- o bicíclicas (14).
- **Fenilpropanoides** (5-30 %): Como eugenol (clavo) y cinamaldehído (canela), que aportan propiedades antimicrobianas (13).

Su composición varía según factores ambientales (estrés hídrico incrementa un 20 % los monoterpenos en orégano) y métodos de extracción (1). Por ejemplo, la hidrodestilación recupera un 85-90 % de compuestos polares,

mientras la extracción con CO₂ supercrítico preserva mejor termolábiles como el timol (15).

En la industria alimentaria, aceites como el de orégano (*L. graveolens*) reducen hasta un 99 % *Listeria monocytogenes* en carnes (16), y en medicina, su actividad antioxidante (IC₅₀: 25 µg•mL⁻¹ en ensayos DPPH) supera a aditivos sintéticos como el BHT (17). Autores como Ramsey et al. (17) destacan su potencial para tratar enfermedades inflamatorias, mientras da Silva *et al.* (18) demuestran su eficacia antifúngica contra *Candida albicans* (MIC: 0.1 µL•mL⁻¹).

Aplicaciones Industriales de los Aceites Esenciales

1. Industria Cosmética y de Cuidado Personal

Los aceites esenciales son ingredientes activos en el 78 % de los productos dermatológicos debido a sus propiedades multifuncionales (19). Por ejemplo:

- **Aceite de lavanda** (*Lavandula angustifolia*): Reduce un 42 % la inflamación cutánea en modelos de dermatitis (20).
- **Aceite de árbol de té** (*Melaleuca alternifolia*): Eficacia clínica contra el acné (reducción del 60 % en lesiones a las 8 semanas) (19).
- **Aceite de romero** (*Rosmarinus officinalis*): Incrementa la síntesis de colágeno en un 35 % por estimulación de fibroblastos (21).

2. Industria alimentaria

En el envasado activo, películas con 1-2 % de aceite de orégano prolongan la vida útil de carnes rojas hasta un 50 % al inhibir *E. coli* y *Salmonella* (22). Otros usos incluyen:

- **Conservación de pescado:** Aceite de tomillo (*Thymus vulgaris*) reduce la oxidación lipídica en un 70 % (23).

- **Aromatización:** Limoneno (de cítricos) es el principal saborizante en el 90 % de bebidas carbonatadas (24).

3. Envasado Activo

La incorporación de aceites en biopolímeros (quitosano + aceite de clavo) mejora:

- **Barrera al vapor de agua:** Disminución del 45 % en permeabilidad (25).
- **Actividad antimicrobiana:** Reducción de 4 log UFC g⁻¹ en *Listeria* en jamón curado (26).

Tabla comparativa de eficacia:

Aceite	Aplicación	Efecto	Referencia
Orégano (<i>L. graveolens</i>)	Envasado de carne	Inhibe 99 % <i>E. coli</i> en 24 h	(21)
Menta (<i>Mentha piperita</i>)	Cremas antiacné	Reduce lesiones en 60 %	(19)
Canela (<i>Cinnamomum zeylanicum</i>)	Conservación de fruta	Disminuye mohos en 80 %	(22)

Aceite de Orégano

1. Composición Química y Actividad Antioxidante

El aceite esencial de *L. graveolens* exhibe una potente actividad antioxidante (IC_{50} : $25 \mu g \bullet mL^{-1}$ en ensayos DPPH), atribuible principalmente a sus monofenoles mayoritarios:

- **Carvacrol** (60-80 % del total): Inhibe la peroxidación lipídica en un 90 %, superior al BHT (antioxidante sintético) (22).
- **Timol** (5-15 %): Potencia la actividad de enzimas endógenas como la superóxido dismutasa (SOD) (23).

Estos compuestos se biosintetizan vía la ruta del ácido mevalónico, regulada por enzimas clave como lay-terpineno sintasa (24).

2. Variabilidad Química y Aplicaciones

Estudios fitoquímicos demuestran que la composición del aceite varía según:

- **Ubicación geográfica:** Ejemplares de zonas áridas (Chihuahua) contienen un 20 % más de carvacrol que aquellos de regiones húmedas (25).
- **Método de extracción:** La hidrodestilación recupera un 85 % de terpenos, mientras el CO_2 supercrítico preserva mejor los fenoles (26).

Aplicaciones en conservación de alimentos:

- En carne de res, 0.1 % de aceite de *L. graveolen* reduce el crecimiento de *Salmonella* en 3 log UFC g^{-1} (27).
- En frutas, incrementa la vida útil en un 40 % al inhibir mohos como *Aspergillus flavus* (28).

Propiedades del aceite de orégano

Composición química detallada

El aceite esencial de *L. graveolens* contiene una compleja mezcla de metabolitos secundarios con actividad biológica demostrada:

Fenólicos:

- **Carvacrol** (60-80 %): Principal responsable de la actividad antimicrobiana (99 % inhibición de *E. coli* 0.5 mg•mL⁻¹) (25).
- **Timol** (5-15 %): Potencia la actividad antioxidante (IC₅₀: 28 mg•mL⁻¹ en ensayo DPPH) (26).

Terpenoides:

- **γ-Terpineno**(3-8 %) y **p-Cimeno**(2-5 %): Precursores en la biosíntesis de carvacrol (27).

Ácidos fenólicos:

- **Ácido rosmarínico** (1-2 %): Efecto antiinflamatorio (reduce IL-6 en un 40 %) (28).

Comparación con *O. vulgare* ssp. *hirtum*:

Mientras la subespecie mediterránea contiene 40-60 % de carvacrol, *L. graveolens* supera el 80 % en condiciones de estrés hídrico (29).

Dinámica de los Componentes Mayoritarios

Estudios cromatográficos (GC-MS) revelan que: existe una correlación inversa entre timol y carvacrol: En poblaciones silvestres de *L. graveolens*, un aumento del 10 % en timol reduce un 15 % el carvacrol (30). Los monoterpenos menores (α-pineno, β-mirceno) representan <5 % pero contribuyen al perfil aromático (31).

Implicaciones comerciales:

Los quimiotipos ricos en carvacrol (>70 %) alcanzan precios un 30 % superiores en el mercado internacional (32).

Composición de aceites esenciales de especies de orégano

Perfil químico y variabilidad

Los aceites esenciales de orégano (*L. graveolens* y *Origanum* spp.) presentan una composición compleja (Figura 1), dominada por:

- **Monoterpenos (70-95 %):**
- **Carvacrol** (40-85 % en *L. graveolens*) – Actividad antimicrobiana (99 % inhibición de *S. aureus* 0.5 mg•mL⁻¹) (29).
- **Timol** (5-50 %) – Potente antioxidante (IC₅₀: 30 µg•mL⁻¹ en ensayo DPPH) (30).
- **γ-Terpineno** (3-15 %) y **p-Cimeno** (2-10 %) – Precursores en la biosíntesis de fenoles (31).
- **Sesquiterpenos (5-20 %):**
- **β-Cariofileno** (1-5 %) – Efecto antiinflamatorio (reduce TNF-α en un 35 %) (32).

Quimiotipos clave:

Factores que Influyen en la Composición

Origen geográfico: *L. graveolens* de zonas áridas (ej.: Chihuahua) contiene un 20 % más de carvacrol que poblaciones de regiones húmedas (33).

Manejo agronómico: Plantas cultivadas muestran un 15-30 % menos de fenoles que las silvestres debido a menor estrés ambiental (34).

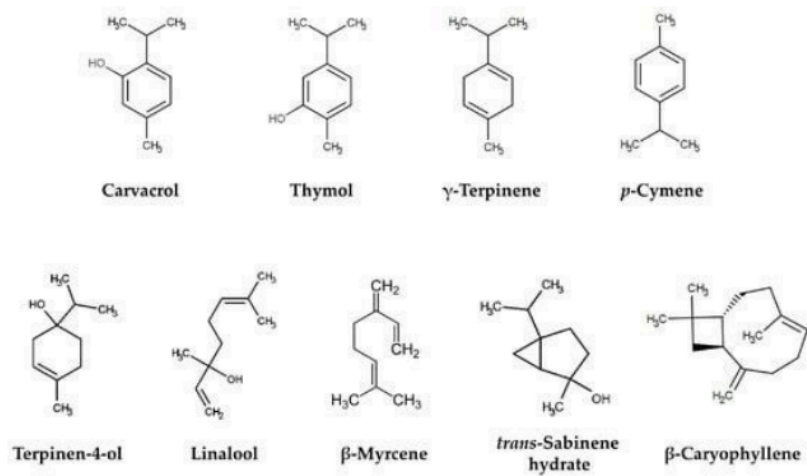


Figura 1. Algunos de los principales componentes de los aceites esenciales de orégano

Fuente: Numpaque *et al.* (31).

Cuadro 1. Componentes principales de los aceites esenciales de diferentes especies de orégano en México.

Familia	Especies de orégano	Origen	Componentes
Lamiaceae	<i>Poliominthalongiflora</i>	México	Timol, β-mirceno, γ-terpineno, cis-p-menta-1(7), 8-dien-2-ol, viridiflorol.
	(Gray)		
	<i>Monarda fistulosa</i> var	México	Timol, acetato de carvacrol, carvacrol, canfeno, β-mirceno, γ-terpineno, cis-p-menta-1(7), 8-dien-2-ol, viridiflorol.
Verbenaceae	<i>Menthifolia</i> (Graham)	México	Carvacrol (8.76–24.57 %), <i>p</i> -cimeno (14.25–22.37 %), timol (15.11–21.39 %).
	<i>L. graveolens</i>	México	Timol, α-cedreno, trans -piperitol, eugenol, acetato de carvacrol.

Fuente: Leyva López *et al.* (32) y Ortega *et al.* (33)

Extracción de aceite de orégano

Importancia del Método de Extracción

La calidad del aceite esencial de *L. graveolens* depende críticamente del método de extracción, ya que técnicas inadecuadas pueden degradar hasta un 40 % de los compuestos termolábiles (carvacrol y timol) (Figura 2), reduciendo su actividad biológica (39). Los parámetros más afectados incluyen:

- **Color:** Hidrodestilación produce aceites más oscuros (índice de color: 150-200 ICUMSA) vs. CO₂ supercrítico (50-80 ICUMSA) (40).
- **Aroma:** Métodos con calor (ej.: arrastre de vapor) reducen un 15-20 % los terpenos volátiles (41).

Datos clave:

- **Extracción con agua subcrítica:** Recupera un 10 % más de antioxidantes (ácido rosmarínico) que métodos tradicionales (45).
- **Pérdidas por calor:** Temperaturas >100°C degradan el 25 % del carvacrol (46).

Recomendaciones para Maximizar la Calidad

- **Para uso farmacéutico:** CO₂ supercrítico a 40°C y 100 bar (pureza del 98 %) (47).
- **Para conservación de alimentos:** Microondas (300 W, 15 min) minimiza pérdidas de timol (48).
- **En campo:** Hidrodifusión con vapor a baja presión (<1 atm) para pequeños productores (49).

Técnicas de Extracción Comparadas

Método	Ventajas	Limitaciones	Rendimiento	Aplicación Óptima
Hidrodestilación	Bajo costo Ideal para hojas	Pérdida de 20-30 % de monoterpenos	2-4 %	Uso en pequeña escala (42)
CO₂ Supercrítico	Preserva 95 % de fenoles Sin residuos	Alto costo de equipo	3-5 %	Aceites premium (farmacéutico) (43)
Microondas sin solvente	Rapidez (30 min vs 4 h) Ahorro energético	Requiere control preciso	2.5-3.5 %	Industria alimentaria (44)

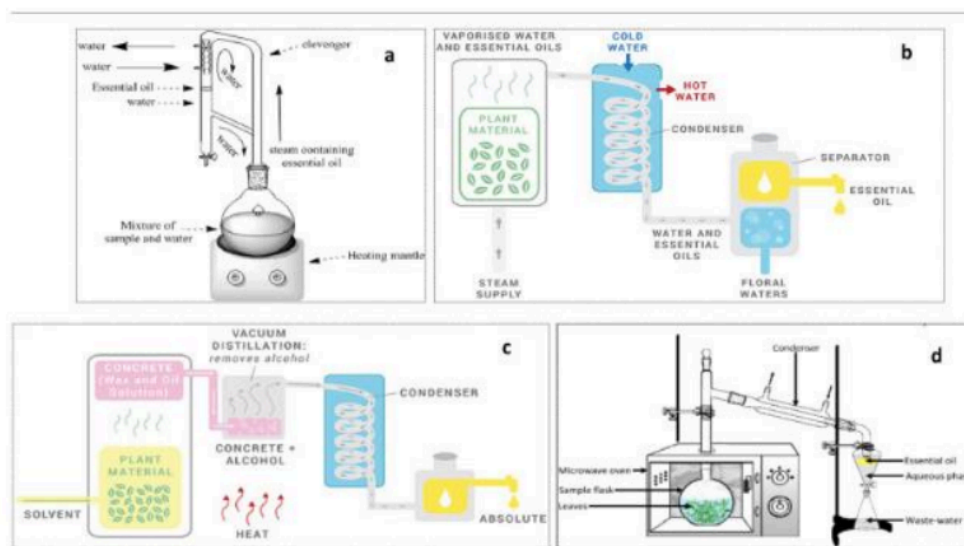


Figura 2. Diferentes técnicas de extracción de aceites esenciales: a: hidrodestilación; b: destilación al vapor; c; extracción con solvente; y d: extracción por microondas sin solvente

Fuente: Samadi (41) y Christian *et al.* (24).

Propiedades biológicas del aceite esencial de especies de orégano

Los aceites esenciales de orégano suelen variar debido a una gran diversidad de factores como especies, plagas, condiciones del suelo, época de cosecha, ubicación geográfica, condiciones climáticas y de crecimiento (44). Se han realizado varios estudios para determinar y evaluar las propiedades biológicas del aceite esencial de orégano. La mayoría de los estudios se centran en la actividad antimicrobiana, como antifúngica, bactericida y antiviral; sin embargo, recientemente han llamado la atención de los científicos otras propiedades de estos compuestos (45).

Los aceites esenciales de hierbas y especias han sido ampliamente estudiados debido a sus propiedades antipatógenas. Se han realizado numerosas investigaciones *in vitro* e *in vivo* para evaluar las posibles actividades antibacterianas, antivirales y anti fúngicas de los aceites esenciales (46). Estudios son de gran importancia debido a la aparición de cepas resistentes a antibióticos, el aumento de la población con menor inmunidad y el aumento de la incidencia de infecciones asociadas a biopelículas resistentes a los medicamentos. Estos estudios se han centrado tanto en aceites esenciales individuales como en una combinación, o extrayendo mediante varios métodos los aceites esenciales de diferentes hierbas y especias. Diferentes especies de orégano se encuentran entre las hierbas más estudiadas y se han utilizado diferentes composiciones de aceite esencial para este propósito; sin embargo, los compuestos más comunes que se encuentran en el orégano son el timol y el carvacrol (47).

Los aceites esenciales de orégano se han estudiado como agentes antipatógenos en productos cárnicos y frutas y verduras poscosecha. A veces se han utilizado en combinación con recubrimientos comestibles, como cuando se utilizan en frutas y verduras poscosecha. Se toman precauciones en la posible modificación de las propiedades organolépticas de dichos productos cuando se les añaden aceites esenciales. Por otro lado, en algunos casos, la capacidad antioxidante (AOX) del producto final aumenta, lo que se considera un efecto secundario positivo del uso de estos compuestos (48).

El estrés oxidativo es la alteración del equilibrio prooxidante-antioxidante a favor del primero, provocando posibles daños; y a menudo es causado por el ataque de especies reactivas, como peróxido de hidrógeno (H_2O_2), anión

superóxido ($O_2 \cdot^-$), hidroxilo ($HO\cdot$), peróxido ($RO_2 \cdot$) y alcoxilo ($RO \cdot$), radicales, sobre los constituyentes de los organismos vivos (49). El estrés oxidativo puede provocar un aumento de la proliferación celular, la adaptación mediante la regulación positiva de los sistemas de defensa, el daño del ADN, la senescencia y la muerte celular. En consecuencia, muchos estudios han correlacionado positivamente el estrés oxidativo con la patogénesis de enfermedades como la enfermedad de Alzheimer, la enfermedad de Parkinson, la inflamación crónica, la artritis, algunos tipos de cáncer, la diabetes y la aterosclerosis, entre otras (50). Se han estudiado varios fitoquímicos por su potencial actividad eliminadora de especies reactivas y su capacidad para neutralizar el estrés oxidativo. Los aceites esenciales se encuentran entre los fitoquímicos específicos debido a su capacidad AOX, ya que es de gran importancia debido a su potencial para prevenir el daño oxidativo (51). Se han estudiado las propiedades AOX de aceites esenciales de diferentes especies de orégano; y cabe mencionar que algunos de los aceites esenciales que han sido estudiados en otras especies de plantas por sus propiedades AOX también se pueden encontrar en diferentes especies de orégano. Sin embargo, esto no garantiza su capacidad para neutralizar el estrés oxidativo y prevenir el daño oxidativo, ya que las diferencias en la composición del aceite esencial de orégano pueden modificar la actividad biológica (1).

Además de los beneficios del aceite esencial de orégano para la salud, se han realizado esfuerzos para estudiar la actividad AOX de estos compuestos para utilizarlos como conservantes de alimentos (51). Diferentes estudios han demostrado que los efectos AOX del aceite de orégano están relacionados con la presencia de estructuras fenólicas como timol y carvacrol (52) por lo que estos

compuestos podrían reemplazar a los antioxidantes sintéticos utilizados actualmente en la industria alimentaria y, debido a su origen natural, mejorar la salud.

Diferencias en la actividad AOX y la composición química en relación con el origen geográfico, el modo de extracción o la diferente etapa fenológica de la planta (53). Tradicionalmente, los aceites de orégano se extraen mediante hidrodestilación. No obstante, diferentes métodos de extracción podrían tener un efecto sobre la actividad AOX del aceite de orégano, ya que esto podría afectar la composición.

El momento de la cosecha también podría influir en la actividad antioxidante del aceite de orégano esencial. Siddique *et al.* (54) evaluaron la actividad AOX, utilizando el ensayo DPPH, de aceites esenciales obtenidos de hojas y flores de *O. glandulosum*. Donde se demostró que la actividad de AOX difiere según el año de cosecha y la ubicación del orégano. La actividad antioxidante (expresada como IC₅₀) varió de 59.2 mg•L⁻¹ en 2007 a 226.19 mg•L⁻¹ en 2008 y 143.91 mg•L⁻¹ en 2009 para el orégano recolectado en Nefza, y de 79.8 mg•L⁻¹ en 2007 a 137.66 mg•L⁻¹ en 2008 y 151.85 mg•L⁻¹ en 2009 para la población de Krib. Las diferencias en la concentración y composición de α -cimeno, γ -terpineno, timol y carvacrol en los aceites esenciales podrían ser responsables de los cambios en la actividad de AOX. Asimismo, la actividad captadora de radicales libres, medida por el ensayo DPPH, de *O. onite* cosechadas en diferentes épocas se vio afectada, las muestras obtenidas en junio mostraron menores valores de IC₅₀ (116.74 μ g•mL⁻¹ y mayor capacidad de AOX que las obtenidas en julio. (123.75 μ g•mL⁻¹), agosto (128.86 μ g•mL⁻¹ y septiembre (132.93 μ g•mL⁻¹).

Aceite de orégano como antioxidante en la prevención de enfermedades

Los aceites de orégano han demostrado tener eficacia como antioxidantes y podrían tener el potencial de retrasar la oxidación lipídica. Esto podría darle al aceite de orégano la capacidad de inhibir el daño celular causado por los radicales libres (55). Los autores afirman que los aceites esenciales de esta especie específica no son activos para capturar radicales libres, pero tienen un importante poder reductor/antioxidante férrico (56). Hay varios otros estudios que han informado sobre la actividad AOX de los AE de diferentes especies de orégano (34). Se cree que las propiedades AOX de los aceites esenciales están relacionadas, al menos en parte, con los mecanismos mediante los cuales ejercen su efecto sobre el estrés oxidativo.

Algunos mecanismos informados son: (i) actividad eliminadora de radicales libres, (ii) modulación de las enzimas AOX (superóxido dismutasa); y (iii) inhibición de la prooxidación. En este sentido, los aceites esenciales son eficaces eliminadores de radicales libres, como se ha informado a través de diferentes y numerosos ensayos in vitro como FRAP, poder reductor del hierro (III y II), DPPH y ORAC (57). Se sugiere que las propiedades AOX de los aceites esenciales de orégano están relacionadas con sus enlaces múltiples: cuanto mayor es la longitud de los terpenos conjugados, mayor es la actividad eliminadora (58). Debido a la capacidad de eliminación de radicales del aceite esencial de orégano, se ha informado que estos compuestos pueden usarse como sustancias promotoras de la salud en la prevención de enfermedades crónicas y trastornos neurodegenerativos, que están relacionados con el estrés oxidativo (59).

La inflamación es una respuesta biológica normal del cuerpo al daño tisular, infecciones y agentes químicos o físicos (60). Durante la inflamación se desencadena la producción de mediadores inflamatorios. Ejemplos de estos mediadores son las citocinas, las prostaglandinas, las enzimas, el óxido nítrico (NO) y las especies reactivas de oxígeno (ROS), entre otros (61). Si no se controla la inflamación, se sobre producen mediadores proinflamatorios, lo que podría inducir procesos patológicos relacionados con enfermedades como la artritis, la aterosclerosis y el cáncer, por nombrar algunas (62). En consecuencia, la inhibición de los mediadores es un objetivo imperativo para tratar enfermedades inflamatorias.

Existen evidencias que mencionan que los aceites esenciales de orégano tienen la capacidad de ejercer actividad antiinflamatoria. Leyva-López *et al.*, (32) demostraron que los terpenos, como el timol y el acetato de carvacrol, obtenidos de las tres especies mexicanas de orégano, *L. graveolens*, *L. palmeri* y *H. Patens* redujeron significativamente los niveles de ROS y NO producidos por las células de macrófagos RAW 264.7 estimuladas con lipopolisacárido (LPS). Han y Parker *et al.* (63) demostraron que los aceites esenciales obtenidos de *O. vulgare* inhibían significativamente los niveles de los biomarcadores inflamatorios proteína quimioattractante de monocitos⁻¹ (MCP⁻¹), la molécula de adhesión de células vasculares⁻¹ (VCAM⁻¹) y la molécula intracelular. Molécula de adhesión celular (ICAM⁻¹) en fibroblastos neonatales humanos primarios activados. Estos hallazgos sugieren que los aceites esenciales de orégano tienen propiedades antiinflamatorias.

También se han estudiado los componentes individuales del aceite esencial de orégano para comprender mejor su efecto sobre la inflamación. Lima *et al.*, (64) demostró que el carvacrol ejerce actividad antiinflamatoria en un modelo típico de inflamación en ratones. Cuando se administró carvacrol a ratones (a 50 y 100 mg•kg⁻¹), que presentaban edema en las patas, los niveles de prostaglandinas IL-1 β y prostaglandina E₂ (PGE₂) disminuyeron. La reducción de la expresión de ARNm de IL-1 β y ciclooxigenasa-2 (COX-2) podría ser responsable de los efectos mencionados. Los estudios mencionados anteriormente indican que diversas especies de orégano podrían usarse como agentes antiinflamatorios y podrían usarse en formulaciones para la prevención o el tratamiento de enfermedades relacionadas con la inflamación.

Aceite esencial de orégano y enfermedades cardiovasculares

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) son la principal causa de muerte en varios países y están aumentando en todo el mundo. La ECV es una afección inflamatoria crónica que se acelera por diversos factores como el tabaquismo, la diabetes y la inflamación (65). La principal causa de ECV es la aterosclerosis, que es el resultado de una respuesta inflamatoria anormal (66); ya que algunas citocinas proinflamatorias, IL-1 β y TNF- α , están involucradas en el proceso de adherencia de los leucocitos (67).

Como se mencionó anteriormente, los aceites esenciales son compuestos naturales que han sido estudiados por sus actividades biológicas, como efectos antiinflamatorios y cardiovasculares. A este respecto, la investigación sobre los efectos de los aceites de orégano sobre las enfermedades cardiovasculares se ha centrado en componentes individuales de los aceites esenciales como carvacrol,

timol, eugenol y γ -terpineno de diversas fuentes. Curiosamente, estos estudios han demostrado que algunos aceites esenciales pueden reducir los niveles plasmáticos totales de colesterol y triglicéridos, lo que contribuye a la formación de aterosclerosis. Entre los estudios más notorios publicados hasta la fecha, se han informado propiedades antiinflamatorias de diferentes especies de orégano (68).

Es importante mencionar que el modo de acción de los aceites esenciales sobre su efecto en la salud cardiovascular no se conoce del todo por falta de estudios. Sin embargo, Dantas *et al.*, (69) sugieren las posibles propiedades antihipertensivas de los aceites esenciales como el carvacrol al actuar como agentes hipotensores debido a la vasodilatación que implica la inhibición del flujo de entrada de Ca^{+2} a través de los canales Ca_v y TRP. En este sentido, los canales TRP son una superfamilia de receptores que se ha sugerido que participan en el desarrollo de hipertrofia cardíaca, insuficiencia cardíaca, arritmias cardíacas, remodelación vascular e hipertensión pulmonar (70). Se ha observado que algunos de los aceites esenciales son capaces de estimular significativamente el sistema cardiovascular y pueden provocar vaso-relajación, hipotensión y regresión del proceso de aterosclerosis. Se han realizado muchos estudios para evaluar el papel de los aceites esenciales sobre la vasodilatación y la frecuencia cardíaca.

Aceites esenciales de orégano y su efecto sobre el síndrome metabólico

La obesidad y el síndrome metabólico son eventos potencialmente mortales que conducen a problemas de salud crecientes en todo el mundo. La obesidad es el componente central y causal de los síndromes metabólicos, resultante de un desequilibrio entre la ingesta y el gasto de energía que puede causar intolerancia a la glucosa, resistencia a la insulina y diabetes tipo 2 (71). En particular, la

Federación Internacional de Diabetes define el síndrome metabólico como un grupo de los factores de riesgo de ataque cardíaco más peligrosos: diabetes y aumento de la glucosa plasmática en ayunas, obesidad abdominal, colesterol alto y presión arterial alta (72).

Aunque un estilo de vida saludable y el control de la dieta se encuentran entre las estrategias de prevención del síndrome metabólico, la terapia farmacológica también se utiliza en el tratamiento de la obesidad abdominal, la elevación de la glucosa plasmática en ayunas y la diabetes. Entre los fármacos más utilizados se encuentran la metformina, que es un conocido activador de la proteína quinasa activada por monofosfato de adenosina (AMPK); y los inhibidores de la α -glucosidasa y la α -amilasa, que son las principales enzimas que median el metabolismo de los carbohidratos de la dieta. No obstante, estos inhibidores a menudo pueden causar efectos secundarios no deseados, como malestar abdominal, por lo que se continúa en la búsqueda de nuevas alternativas naturales sin efectos adversos (73).

Las propiedades antidiabéticas del aceite de orégano esenciales se han relacionado con los componentes principales como el carvacrol y el timol (67); en este sentido algunos estudios en plantas pertenecientes a la familia Lamiaceae, sugieren que el modo de acción de los aceites esenciales puede variar dependiendo de esa composición.

Sarikurkcu *et al.* (74) demostraron que los aceites esenciales de dos especies de orégano (*O. vulgare* subsp. *Vulgare* y subsp. *hirtum*) poseen actividad inhibidora de α -amilasa y α -glucosidasa. Curiosamente, los principales compuestos identificados en estas especies fueron timol, carvacrol, *p*-cimeno, γ -

terpineno y linalol. Así mismo, Lopez-Matinez *et al.* (75) informaron que la inhibición de la amilasa por los aceites de *O. vulgare*, se combinaban con ácido rosmarínico, ya que la inhibición era mayor, lo que sugiere que la combinación de compuestos fenólicos con aceites esenciales de orégano puede contribuir a una actividad inhibidora adicional de la amilasa. Es importante mencionar que previamente se ha informado sobre la variabilidad en la composición de aceites esenciales de diferentes especies de orégano Leyva *et al.* (2). Es importante mencionar que las posibles propiedades antidiabéticas de los aceites esenciales individuales han sido estudiadas, sin embargo, cuando se combinan con otros compuestos este efecto puede modificarse, por lo que alentamos futuras investigaciones sobre las propiedades antidiabéticas y antimetabólicas de los aceites esenciales de diferentes especies de orégano.

Actividad antiprolifertiva y citotóxica de los aceites esenciales de orégano

Los componentes de los aceites esenciales podrían ejercer un efecto antiproliferativo. Diferentes mecanismos como antioxidante, antimutagénico, antiproliferativo, entre otros, son responsables de sus propiedades quimiopreventivas da Silva *et al.* (15). Los efectos antiproliferativos de los aceites esenciales se han demostrado en diversos modelos de células cancerosas a través de varias vías di Liberto *et al.* (76), alguno de ellos reflejados en el Cuadro 2.

Marrelli *et al.* (77), estudiaron la actividad antiproliferativa de los aceites especies de *Origanum*. A una concentración de 100 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, los aceites esenciales derivados de *O. dictamnus* mostraron la actividad biológica más interesante con una inhibición en la línea celular de carcinoma de colon (LoVo) del

58.39 % después de 24 h. Además, el valor de CI_{50} para este aceite esencial fue de $84.76 \mu\text{g} \bullet \text{mL}^{-1}$ después de 24 h y de $72.26 \mu\text{g} \bullet \text{mL}^{-1}$ después de 48 h de tratamiento. En el mismo estudio, se informó que los aceites esenciales de *O. dictamnus* y *O. libaniticum* tenían una actividad antiproliferativa del 49.83 % y del 48.50 % en la línea celular de hepatocarcinoma (HepG2) a una concentración de $100 \mu\text{g} \bullet \text{mL}^{-1}$. Además, los aceites esenciales han demostrado actividad contra agentes genotóxicos, que son capaces de alterar el ADN y, por tanto, causar cáncer o mutaciones (78). Los efectos de AFB₁ (5 μM), un promotor del cáncer, en los linfocitos periféricos humanos, disminuyeron después del tratamiento con aceites esenciales de *O. rotundifolium* (1.5 y 2.0 μL). Esta actividad podría atribuirse en parte a la composición de los aceites esenciales y su capacidad antioxidante (79). De manera similar, el tratamiento combinado de praletina y aceites esenciales de *O. majorana* en células de la médula ósea de ratas dio como resultado la reducción de la aberración cromosómica (54.54 %), por lo que los aceites esenciales de orégano demostraron tener un efecto genotóxico. Los efectos podrían atribuirse a la capacidad de eliminación del aceite esencial de orégano y su contribución a la obstaculización de la peroxidación lipídica (80).

Cuadro 2. Resumen de las actividades biológicas de los aceites esenciales de orégano.

Especies de orégano	Actividad biológica	Efecto	Referencia
<i>H. patenas</i>	Antiinflamatorio	Reducción de los niveles de NO y ROS producidos en células de macrófagos murinos.	Leyva-López (2)
<i>L. palmeri</i>	Antiinflamatorio	Inhibición de la producción de ROS y NO por macrófagos RAW 264.7 estimulados por LPS	Leyva-López (2)
<i>L. graveolens</i>	Antioxidante	Actividad eliminadora de radicales contra DPPH	Leyva-López (2)
	Antiinflamatorio	Reducción de los niveles de NO y ROS producidos en células de macrófagos murinos estimuladas por LPS	Leyva-López (2)
<i>O. acutidens</i>	Antioxidante	Mostró actividad eliminadora contra el radical DPPH.	Gozed <i>et al.</i> (84)
	Citotóxico	No tóxico cuando se usa en células MCF-7	El Babili <i>et al.</i> (85)
<i>O. dictamnus</i>	Antioxidante	Poder férrico reductor/antioxidante	Marrelli <i>et al.</i> (86)
	Antiproliferativo	Inhibe la proliferación celular del carcinoma de colon (LoVo) y de la hepatocarcinoma (HepG2)	Marrelli <i>et al.</i> (86)
<i>O. ehrenbergii</i>	Antioxidante	Actividad eliminadora de radicales del DPPH	Loizzo <i>et al.</i> (87)

Continúa. Cuadro 2. Resumen de las actividades biológicas de los aceites esenciales de orégano.

<i>O. glandulosum</i>	Antioxidante	Mostró actividad antirradical.	Mecherqui <i>et al.</i> (88, 89)
<i>O. heracleoticum</i>	Antiinflamatorio	Inhibición de la producción de NO	Conforti <i>et al.</i> (90)
<i>O. libanótico</i>	Antioxidante	Poder férrico reductor/antioxidante	Marreli <i>et al.</i> (86)
	Antiproliferativo	Inhibir la proliferación de células HepG2	Marreli <i>et al.</i> (86)
<i>O. majorana</i>	Antiinflamatorio	Reducción de la secreción de citoquinas inflamatorias (TNF- α , IL ⁻¹ β e IL ⁻⁶) en células THP ⁻¹	Assis <i>et al.</i> (91)
	Antigenotóxico	Reduce la aberración cromosómica en las células de médula ósea de ratas.	Massoud <i>et al.</i> (92)
	Citotóxico	Inhibe la viabilidad celular de líneas celulares de cáncer de mama humano (MCF ⁻⁷) y próstata (LNCaP).	Bouyahya <i>et al.</i> (93)
<i>O. microphyllum</i>	Antioxidante.	Poder reductor férrico.	Marreli <i>et al.</i> (86)
<i>O. vulgar</i> subsp. <i>vulgar</i>	Antioxidante	Actividad eliminadora de radicales (ensayos DPPH, ABTS y FRAP). Capacidad reductora total (método Folin-Ciocalteu)	Martucci <i>et al.</i> (94)

Continúa. Cuadro 2. Resumen de las actividades biológicas de los aceites esenciales de orégano.

Antioxidante	Prevenir la autooxidación de ésteres de ácidos grasos poliinsaturados.	Oniga <i>et al.</i> (95)
Antiinflamatorio	Síntesis reducida de citocinas TNF- α , IL-1 β e IL-6.	Acaña-Fuentes <i>et al.</i> (96)
Antiinflamatorio	Aumento de la síntesis de citocina IL-10.	
Antiinflamatorio	Inhibición de los niveles de biomarcadores inflamatorios (MCP-1, VCAM-1 e ICAM-1) en fibroblastos neonatales humanos primarios activados	Han <i>et al.</i> (97)
Antiproliferativo	Inhibe la proliferación celular del adenocarcinoma de mama humano (MCF-7) y del adenocarcinoma de colon humano (HT-29)	Begnini <i>et al.</i> (98)
Antitumoral	Disminuir el tamaño de los tumores en ratones enfermos.	Misharina <i>et al.</i> (99)
Hipoglucemiante	Inhibe la actividad de la α -amilasa y la α -glucosidasa	Sarikucu <i>et al.</i> (100)

Fuente: Elaboración propia

Los aceites esenciales de orégano se han propuesto como inhibidores dietéticos de la mutagénesis y la carcinogénesis (81). Sin embargo, las investigaciones sobre el efecto anticancerígeno de los aceites esenciales son escasas. Asimismo, hay considerablemente menos trabajos dedicados a la actividad biológica de los aceites esenciales utilizando cultivos celulares y modelos *in vivo* (82). Además, los objetivos moleculares a nivel del genoma y las vías genéticas involucradas en los mecanismos de los aceites siguen estando poco explorados (83).

Bases para la comercialización y exportación del producto

A continuación, se describe la clasificación arancelaria dentro del Sistema Armonizado, con base a la Ley de los Impuestos Generales de Importación y de Exportación (LIGIE) (2):

- Producto: Aceite de orégano.
- Sector: Productos de las industrias químicas o de las industrias conexas
- Clasificación arancelaria: Desafortunadamente no existe una fracción arancelaria específica para aceite de orégano, por lo que este queda incluido con otros aceites esenciales en la clasificación genérica 3301.29.99 – 99.

En el ámbito de las operaciones de comercio exterior, la unidad de medida para este producto es el kilogramo. Además, cabe destacar que está exento del pago de aranceles tanto en el proceso de importación como en el de exportación (101).

Cuadro 3. Descripción de la clasificación arancelaria.

Apartado	Código	Descripción
Capítulo	33	Aceites esenciales y resinoides; preparaciones de perfumería, de tocador o de cosmética
Partida	3301	Aceites esenciales (desterpenados o no), incluidos los "concretos" o "absolutos"; resinoides; oleorresinas de extracción; disoluciones concentradas de aceites esenciales en grasas, aceites fijos, ceras o materias análogas, obtenidas por enflorado o maceración; subproductos terpénicos residuales de la desterpenación de los aceites esenciales; destilados acuosos aromáticos y disoluciones acuosas de aceites esenciales
Subpartida	3301.29	Los demás.
Fracción	3301.29.99	Los demás.
NICO	99	Los demás.

Fuente: Elaborado con base a la Ley de los Impuestos Generales de Importación y de Exportación (101).

Cuadro 4. Cuota arancelaria del aceite de orégano

UMT	Cuota (Arancel)		Regulación / Programa
	Impuesto de importación	Impuesto de exportación	
Kilogramo	Exento	Exento	PS4*; SEM*

- **SEM:** Acuerdo que modifica al diverso que establece las mercancías cuya importación y exportación está sujeta a regulación por parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- **PS4:** Decreto por el que se establecen diversos Programas de Promoción Sectorial, Artículo 4.

Fuente: Elaborado con base a la Ley de los Impuestos Generales de Importación y de Exportación (101).

Mercado de aceites esenciales.

Con base a la clasificación arancelaria de aceites esenciales se realizó una investigación sobre los datos de importación y exportación en la plataforma de *Trade Map* de *International Trade Centre*. En 2022, el mercado de aceites esenciales registró un valor de importación de 2, 396,507 miles de dólares. Según el Cuadro 5, se destaca que los principales países importadores fueron Estados Unidos, con 499,886 miles de dólares; seguido de Francia, con 304,648 miles de dólares, y Alemania, con 145,337 miles de dólares importados.

Cuadro 5. Lista de los principales 15 países importadores de “3301.29” en 2022.

Importadores	Valor importado en 2022 (miles de USD)	Saldo comercial 2022 (miles de USD)	Cantidad importada en 2022	Unidad de cantidad	Valor unitario (USD/unidad)	Participación en las importaciones mundiales (%)	Arancel equivalente <i>ad valorem</i> aplicado por el país (%)
Mundo	2.396.507	-217.919	0	No medida		100	
Estados Unidos de América	499.886	-245.022	11.188	Toneladas	44.681	20.9	0.5
Francia	304.648	19.560	4.135	Toneladas	73.675	12.7	0.5
Alemania	145.337	-87.939	3.312	Toneladas	43.882	6,1	0.5
India	116.679	7.552	4.175	Toneladas	27.947	4.9	16.1
China	113.481	159.642	2.108	Toneladas	53.833	4.7	18.4
Reino Unido	113.214	-52.808	2.839	Toneladas	39.878	4.7	0
Indonesia	112.054	20.863	8.008	Toneladas	13.993	4.7	4.6
Suiza	102.409	-73.861	1.395	Toneladas	73.411	4.3	0
España	100.241	-15.505	2.593	Toneladas	38.658	4.2	0.5
Países Bajos	83.906	3.074	1.260	Toneladas	66.592	3.5	0.5
Japón	52.503	-50.870	463	Toneladas	113.397	2.2	0.4
Singapur	52.025	-36.934	0	No medida		2.2	0

Continúa. Cuadro 5. Lista de los principales 15 países importadores de “3301.29” en 2022.

Italia	44.404	-22.016	1.224	Toneladas	36.278	1.9	0.5
Brasil	42.895	-29.853	916	Toneladas	46.829	1.8	10.3
Canadá	41.944	-16.919	1.848	Toneladas	22.697	1.8	0.3

La agregación mundial representa la suma de los países que reportan los datos y de los que no los reportan. Cálculos del ITC basados en estadísticas de *UN COMTRADE* e del ITC. Fuente: Datos recolectados de *International Trade Centre* (102).

Cuadro 6. Lista de los 15 principales países exportadores de “3301.29” en 2022.

Exportadores	Valor exportado en 2022 (miles de USD)	Saldo comercial 2022 (miles de USD)	Cantidad exportada	Unidad de cantidad	Valor unitario (USD/unidad)	Participación en las exportaciones mundiales (%)
Mundo	2.178.588	-217.919	0	No medida		100
Francia	324.208	19.560	3.572	Toneladas	90.764	14.9
China	273.123	159.642	14.865	Toneladas	18.374	12.5
Estados Unidos de América	254.864	-245.022	8.328	Toneladas	30.603	11.7
Indonesia	132.917	20.863	4.180	Toneladas	31.798	6.1
India	124.231	7.552	2.604	Toneladas	47.708	5.7
Países Bajos	86.980	3.074	1.118	Toneladas	77.800	4
España	84.736	-15.505	2.224	Toneladas	38.101	3.9
Bulgaria	78.411	73.704	528	Toneladas	148.506	3.6
Madagascar	74.377	74.366	4.654	Toneladas	15.981	3.4
Reino Unido	60.406	-52.808	1.348	Toneladas	44.812	2.8
Alemania	57.398	-87.939	986	Toneladas	58.213	2.6
Australia	48.417	15.545	909	Toneladas	53.264	2.2
Haití	34.101	33.753	216	Toneladas	157.875	1.6
Austria	33.443	4.612	516	Toneladas	64.812	1.5
Federación de Rusia	32.174	23.302	511	Toneladas	62.963	1.5

La agregación mundial representa la suma de los países que reportan los datos y de los que no los reportan

Cálculos del ITC basados en estadísticas de UN COMTRADE e del ITC.

Fuente: Datos recolectados de *International Trade Centre* (103)

En el Cuadro 6 se detalla el rendimiento de los países en términos de exportación de aceites esenciales, destacando a Francia, China y Estados Unidos de América como las naciones líderes en este campo. Cabe destacar que China fue el país que más toneladas exportó durante el año 2022.

Perspectivas del mercado del aceite esencial de orégano.

Con base al reporte de *Oregano Oil Market* (104), el mercado de aceite de orégano presentó un incremento del 49 % de valor *Compound Annual Growth Rate* (CAGR), durante el período histórico de evaluación del 2018 al 2022, debido a las propiedades naturales asociadas con dicho producto.

EMR Aclaight Enterprise (105) reportó que el valor del mercado de aceite de orégano alcanzó aproximadamente los 16.14 mil millones de dólares, durante el 2023 y se proyecta un crecimiento de dicho mercado a una tasa anual compuesta del 4.8 % entre 2024 y 2032, llegando a un valor de 24.61 mil millones de dólares para 2032.

¿Cuáles son las tendencias clave en el mercado del aceite esencial de orégano?

Cambiando la preferencia de los clientes por los productos sin gluten.

Los productos sin gluten han presentado un aumento en su popularidad debido a la demanda por parte del segmento del mercado que padece afecciones al consumir gluten, como la enfermedad celíaca (106).

Para este tipo de consumidores, los aceites esenciales juegan un papel importante en su dieta, ya que se utilizan para estimular la nutrición esencial, limpiar el organismo y fortalecer el sistema inmunológico. Valeria y Toro (107) señalan que los aceites esenciales presentan una demanda potencial, debido a su

uso como conservantes naturales satisface la demanda de alimentos seguros, saludables y nutritivos. Además, estos aceites tienen un alto contenido de nutrientes esenciales y se ha demostrado que son beneficiosos para mejorar la digestión.

La creciente demanda de productos saludables y nutricionales ha llevado a los fabricantes de alimentos y bebidas a desarrollar productos innovadores con ingredientes naturales y nutritivos. Por lo tanto, el consumo de aceite esencial de orégano en la industria de alimentos y bebidas está creciendo a un ritmo rápido del 6.5 % durante el período estimado (104).

Aplicación creciente del aceite esencial de orégano y creciente conciencia de los consumidores sobre los productos beneficiosos para la salud.

Los aceites esenciales ofrecen una variedad de beneficios para la salud debido a sus propiedades medicinales. Estos productos sirven como reemplazo principal de los medicamentos de infusión química. Sánchez (108) destaca los diferentes usos de los aceites, como tratamientos para disminuir el estrés, la ansiedad, los dolores de cabeza y las migrañas, los trastornos inflamatorios del sueño y muchos otros problemas de salud. La composición química que contiene el aceite esencial de orégano le proporciona múltiples propiedades, como antioxidantes, microbiológicas y conservantes de alimentos; también para uso en perfumería y cosmética (109).

La disponibilidad de diferentes sustitutos puede causar obstáculos.

El mercado mundial de aceites esenciales incluye diferentes aceites esenciales extraídos de diferentes hierbas, especias, flores y diferentes partes de los árboles. Los sustitutos más comúnmente disponibles de los aceites esenciales de orégano

son el limón, el té, la mirra, la monarda y más. La disponibilidad de múltiples sustitutos de aceites esenciales que ofrecen las mismas propiedades o beneficios puede resultar un factor restrictivo para que el mercado mundial de aceites esenciales de orégano alcance su máximo potencial (108).

Panel competitivo

El mercado del aceite de orégano se destaca por la innovación en productos, avances en fabricación y desarrollos en I+D. Las empresas están intensificando sus iniciativas para potenciar la funcionalidad de los aceites esenciales en una amplia gama de productos alimenticios, cosméticos, farmacéuticos y nutricionales para animales.

Además, mediante el empleo de técnicas avanzadas y de vanguardia en el proceso de fabricación, las empresas se enfocan en garantizar elevados niveles de calidad en los productos de aceite esencial de orégano. Asimismo, los fabricantes han incorporado estrategias de marketing multinivel para alcanzar a un amplio espectro de clientes.

Se destaca la importancia de los actores clave en la promoción del aceite esencial de orégano para fortalecer la cartera de productos y expandir la presencia comercial a nuevos territorios geográficos. EMR Aclaight Enterprise (105) establece como los cinco principales actores del mercado a:

- Rocky Mountain Oils, LLC
- NOW Health Group, Inc.
- Do TERRA International, LLC
- AOS Product Pvt. Ltd.
- Mountain Rose Herbs

CONCLUSIONES

La producción, comercialización y exportación de aceite de orégano representa una gran oportunidad de desarrollo económico para los productores en México, dadas sus múltiples aplicaciones y beneficios, que permiten pueda ser colocado en mercados internacionales. Aunado a lo anterior el aceite de orégano cuenta con una ventaja mayor desde el punto de vista económico, dado que está exento del pago de aranceles tanto en el proceso de importación como en el de exportación. Es un aceite que ya se produce y comercializa en el mundo, por lo que existe el mercado para este producto, sin embargo, éste se puede ampliar, así como desarrollar nuevos mercados gracias a la diversidad de usos, aplicaciones y beneficios.

Para aprovechar el potencial de este producto es de vital importancia la educación, la investigación, la innovación y el desarrollo de capacidades, ya que son factores determinantes para el crecimiento del sector. La promoción de este tipo de productos a nivel internacional permite hacer frente a desafíos y retos como el cambio climático, la seguridad alimentaria y la sanidad e inocuidad de los productos, ya que tiene repercusiones en el desarrollo social y económico de los productores y su utilización trae consigo múltiples beneficios para el usuario.

LITERATURA CITADA

1. Diniz do Nascimento L, Barbosa de Moraes AA, Santana da Costa K, Pereira Galúcio JM, Taube PS, Leal Costa CM, *et al.* LJ. Compuestos naturales bioactivos y actividad antioxidante de los aceites esenciales de plantas de especias: nuevos hallazgos y posibles aplicaciones. *Biomoléculas*, 2020, 10(7), 988.

2. Leyva-López N, Gutiérrez-Grijalva EP, Vazquez-Olivo G, Heredia JB. Essential oils of oregano: biological activity beyond their antimicrobial properties. *Molecules*. 2017. 22(6):989. Available from: <https://www.mdpi.com/1420-3049/22/6/989/htm>
3. Loeza-Concha H, Salgado-Moreno S, Ávila-Ramos F, Gutiérrez-Leyva R, Domínguez-Rebolledo A, Ayala-Martínez M, Escalera-Valente F. Revisión del aceite de orégano spp. en salud y producción animal. *Abanico Agroforestal*. 2020 2: 1-22. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/2020.1>
4. Castillo-Pestana JD. Proceso para exportar orégano desde Sáchica Boyacá hacia el mercado de Alemania. instname: Universidad Antonio Nariño 2025 Disponible en: <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/9299>
5. Acevedo D, Navarro M, Monroy L. Composición química del aceite esencial de hojas de orégano (*Origanum vulgare*). *Información Tecnológica*, 2013, 24(4), 9–10. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642013000400005>
6. Contreras R, Calle I, Oses R, Aguayo F, Porcile V, Arias M. Genetic identification of the Putre's oregano (*Origanum vulgare* L.) by ITS and microsatellites, a species recognized in Chile with Seal of Origin. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*. 2021. 20(2): 177–94.
7. Carvalho M, Albano H, Teixeira P. Actividades antimicrobianas *in vitro* de varios aceites esenciales contra microorganismos patógenos y de descomposición. *Revista de control de peligros y calidad de los alimentos*, 2018. 5(2): 41-48.

8. Lachos-Pintado EY, López-Pérez LA. Actividad antibacteriana *in vitro* del aceite esencial de *Origanum vulgare* L. (Orégano) sobre *Staphylococcus aureus* ATCC 25923. Repositorio umaedupe. 2022 Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12970/1004>
9. Bello A. Estudios de aceites esenciales de especie *Myrtaceae* de la flora de Pinar del Río. Tesis de Maestría, Departamento de Ciencias Químicas, Universidad del río, Río, Brasil 1999. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12970/1004>
10. Burt SA. Antibacterial activity of essential oils: potential applications in food, PhD thesis, Institute for Risk Assessment Sciences, Division of Veterinary Public Health, Utrecht University, Utrecht, Netherlands. 2007. Disponible en: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/49009267/>.
11. Bandani AL, Retta D, Lira PMDL, van Baren CM. ¿Son realmente útiles los aceites esenciales? *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*. 2009; 8 (5), 317-322. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/856/85611977001.pdf>
12. Combariza MY, Cristian Blanco-Tirado, Stashenko E, Takayuki Shibamoto. Limonene concentration in lemon (*Citrus volkameriana*) peel oil as a function of ripeness. *Hrc-journal of High Resolution Chromatography*, 1994. 17(9):643–6.
13. Pavela R, Benelli G. Essential Oils as Ecofriendly Biopesticides? Challenges and Constraints. *Trends in Plant Science*, 2016. 21(12): 1000–7.

14. Ramsey JT, Shropshire BC, Nagy TR, Chambers KD, Li Y, Korach KS. Foco: Medicina y farmacología de origen vegetal: Aceites esenciales y salud. *Revista de biología y medicina de Yale*, 2020. 93(2): 291
15. Da Silva Sá GC, Bezerra PVV, Da Silva MFA, Da Silva LB, Barra PB, de Fátima Freire de Melo Ximenes M, Uchoa, AF. Insectos vectores de arbovirus: ¿son los insecticidas botánicos una alternativa para su manejo? *Revista de ciencia de plagas*, 2023,96(1), 1-20.
16. Granados C, Yáñez X, Acevedo D. Evaluación de la actividad antioxidante del aceite esencial foliar de *Myrcianthes leucoxyla* de Norte de Santander (Colombia). *Información tecnológica*, 2014. 25(3):11–6.
17. Manion, CR y Widder, RM. Esenciales de aceites esenciales. *Revista Estadounidense de Farmacia del Sistema de Salud*, 2017. 74(9): e153-e162.
18. Aljaafari MN, AlAli AO, Baqais L, Alqubaisy M, AlAli, M, Molouki, A, Lim, SHE. Una visión general de las posibles aplicaciones terapéuticas de los aceites esenciales. *Moléculas*. 2024. 26(3): 628.
19. Dawood MA, El Basuini MF, Yilmaz S, Abdel-Latif HM, Alagawany M, Kari ZA, Van Doan H. Explorando las funciones de los aceites esenciales de hierbas dietéticas en la acuicultura: una revisión. *Animales*, 2022. 12(7), 823.
20. Ella J, Cho MK. Efecto de la aromaterapia sobre la calidad del sueño de adultos y personas mayores: una revisión sistemática de la literatura y un metanálisis. *Terapias complementarias en medicina*, 2021. 60, 102739.

21. Deng X, Gould M, Ali MA. Una revisión de los avances actuales para la curación de heridas: aplicaciones de biomateriales y dispositivos médicos. *Revista de investigación de materiales biomédicos Parte B: Biomateriales aplicados*. 2020.110(11): 2542-2573.
22. Li YX, Erhunmwunsee F, Liu M, Yang K, Zheng W, Tian, J. Mecanismos antimicrobianos de aceites esenciales de especias y aplicación en la industria alimentaria. *Química de los Alimentos*. 2020, 382, 132312
23. Wang Zhao F, Huang J Li Q, Yang Q, Ju J. Aplicación de aceites esenciales como agentes antimicrobianos de liberación lenta en la conservación de alimentos: estrategias de preparación, mecanismos de liberación y casos de aplicación. *Reseñas críticas en ciencia de los alimentos y nutrición*. 2023, 1-26.
24. Christian KTR, Carole DFM, Alain KY, Dahouenon-Ahoussi, Avlessi F, Sohounhloue D, Simal-Gandara J. Aceites esenciales como antioxidantes naturales para el control de la conservación de alimentos. *Avances en química de alimentos*. 2023; 100312.
25. Arcila-Lozano CC, Loarca-Piña G, Lecona-Urbe S, González de Mejía E. El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes. *Archivos Latinoamericanos de nutrición*. 2004. 54(1): 100-111.
26. d'Antuono LF, Galletti GC, Bocchini P. Variabilidad del contenido de aceite esencial y composición de poblaciones de *Origanum vulgare* L. de un área del norte del Mediterráneo (región de Liguria, norte de Italia). *Anales de Botánica*. 2000. 86 (3): 471-478.

27. Mora-Zúñiga AE, Treviño-Garza MZ, Amaya Guerra CA, Galindo Rodríguez SA, Castillo S, Martínez-Rojas E, Báez-González JG. Comparison of chemical composition, physicochemical parameters, and antioxidant and antibacterial activity of the essential oil of cultivated and wild Mexican oregano *Poliomintha longiflora* Gray. *Plants*, 2022, 11(14): 1785.
28. Albado-Plaus E., Saez-Flores G, Grabiell-Ataucusi S. Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial del *Origanum vulgare* (orégano). *Revista Médica Herediana*, 2021, 12(1): 16-19
29. Lukas B, Schmiderer C, Mitteregger, U, Novak J. Arbutina en mejorana y orégano. *Química de los Alimentos*, 2010, 121(1): 185-190.
30. Moya-López C, González-Fuentes J, Bravo I, Chapron D, Bourson P, Alonso-Moreno, C, Hermida-Merino D. Polylactide perspectives in biomedicine: From novel synthesis to the application performance, *Pharmaceutico*, 2022. 14(8): 1673.
31. Numpaque MA, Oviedo LA, Gil JH, García CM, Durango DL. Timol y carvacrol: biotransformación y actividad antifúngica contra los hongos fitopatógenos *Colletotrichum acutatum* y *Botryodiplodia theobromae*. *Patología de plantas tropicales*. 2011, 36, 3-13.
32. Leyva-López N, Nair V, Bang WY, Cisneros-Zevallos L, Heredia JB. Protective role of terpenes and polyphenols from three species of Oregano (*Lippia graveolens*, *Lippia palmeri* and *Hedeoma patens*) on the suppression of lipopolysaccharide-induced inflammation in RAW 264.7 macrophage cells. *Journal of Ethnopharmacology*, 2016. 87: 302–12.

33. Ortega-Lozano AB. Determinación del efecto antimicrobiano de los aceites esenciales de tomillo (*Thymus vulgaris*) y orégano (*Origanum vulgare*) frente a la bacteria *Staphylococcus aureus* ATCC: 12600. 2018. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16043>
34. Moreira GM. Aceites esenciales de orégano (*Origanum vulgare* L) y su efecto en parámetros de salud y productivos en pollos cobb 500. Espameduec. 2024. Disponible en: <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1159>
35. Madriz-Ordeñana K. Mecanismos de defensa en las interacciones planta-patógeno. Repositorio CATIEACCR. 2002 Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6562>
36. Rodríguez-López VA. Efecto antimicrobiano del aceite esencial de *Calendula officinalis* L., sobre cepas de *Salmonella enterica* y *Escherichia coli* (Master's thesis). Repositorio CATIEACCR. 2019. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10521/3203>
37. Soylu S, Yigitbas H, Soylu EM, Kurt Ş. Antifungal effects of essential oils from oregano and fennel on *Sclerotinia sclerotiorum*. *Journal of Applied Microbiology*, 2007. 103(4):1021–30.
38. Joshi SC, Verma AR, Mathela CS. Actividades antioxidantes y antibacterianas de los aceites esenciales de hojas de especies de *Lauraceae* del Himalaya. *Toxicología alimentaria y química*, 2010, 48(1): 37-40.

39. Linde GA, Colauto NB, Albertó E, Gazim ZC. Quimiotipos, extracción, composición y aplicaciones del aceite esencial de *Lippia alba*. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 2016. 18(1):191–200.
40. Tongnuanchan P, Benjakul S. Aceites esenciales: extracción, bioactividades y sus usos para la conservación de alimentos. *Revista de ciencia de los alimentos*. 2014. 79(7): R1231-R1249.
41. Samadi M, Abidin ZZ, Yunus, Biak DRA, Yoshida H, Lok EH. Evaluación del modelo cinético de hidrodestilación y composición química del aceite esencial de hojas de *Aquilaria malaccensis*. *Revista China de Ingeniería Química*, 2017, 25(2): 216-222.
42. Novák I, Sipo L, Kókai Z, Szabó K, Pluhár ZS, Sárosi SZ. Efecto del método de secado sobre la composición de *Origanum vulgare* L. subsp. Aceite esencial de hirtum analizado por GC-MS y método de perfil sensorial. *Acta alimentaria*, 2011, 40(Suplemento-1): 130-138.
43. Figiel A, Szumny A, Gutiérrez-Ortiz A, Carbonell-Barrachina ÁR. Composición del aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*) afectada por el método de secado. *Revista de Ingeniería de Alimentos*, 2010, 98(2): 240-247.
44. Chua LY, Chong, CH, Chua BL, Figiel A. Influencia de los métodos de secado en la composición antibacteriana, antioxidante y volátil de aceites esenciales de las hierbas: una revisión. *Tecnología de alimentos y bioprocesos*, 2019, 12, 450-476.
45. SharmaM, Grewal K, Jandrotia R, Batish DR, Singh HP, Kohli RK. Aceites esenciales como agentes anticancerígenos: papel potencial en neoplasias

malignas, mecanismos de administración de fármacos y mejora del sistema inmunológico. *Biomedicina y farmacoterapia*, 2022, 146: 112514.

46. Zhou J, Wang M, Bäuerl C, Cortés-Macías E, Calvo-Lerma J, Collado MC, Barba FJ. El impacto de los extractos líquidos presurizados de espirulina, clorella y *Phaedactylum tricornutum* sobre los efectos antioxidantes, antiinflamatorios y de crecimiento bacteriano in vitro y la modulación de la microbiota intestinal. *Química de los alimentos*, 2023, 401: 134083.
47. HammoudiHalat D, Krayem M, Khaled S, Younes S. Una visión centrada en el tomillo: propiedades biológicas, químicas y terapéuticas de una hierba autóctona mediterránea. *Nutrientes*, 2022. 14(10): 2104.
48. Rathod NB, Kulawik P, Ozogul F, Regenstein JM, Ozogul Y. Actividad biológica del carvacrol y timol de origen vegetal y su impacto en la salud humana y la calidad de los alimentos. *Tendencias en ciencia y tecnología de alimentos*, 2021, 116: 733-748.
49. Shen L, Pang S, Zhong M, Sun Y, Qayum A, Liu Y, Ren X. Una revisión exhaustiva de la extracción asistida por ultrasonidos (EAU) de componentes bioactivos: principios, ventajas, equipos y tecnologías combinadas. *Sonoquímica por ultrasonidos*, 2023, 106646.
50. Khongthaw B, Chauhan PK, Dulta K, Kumar V, Ighalo JO. A comparison of conventional and novel phytonutrient extraction techniques from various sources and their potential applications. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2022, 22: 101787.
51. De-Almeida JM, Crippa BL, de Souza VVMA, Alonso VPP, Júnior EDMS, Picone CSF, Silva NCC. Acción antimicrobiana de los aceites esenciales de

- Orégano, Tomillo, Clavo, Canela y Pimienta Negra libres y encapsulados contra patógenos transmitidos por los alimentos. *Control de alimentos*, 2023, 144, 109356.
52. Espain JII, Carmona-Gasca C, Valente FE, Ávila-Ramos F. Efecto del propóleo y aceite de orégano adicionados en la dieta sobre parámetros productivos, leucocitos, metabolitos en sangre y estabilidad oxidativa de la pechuga de pollo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 2020, 11(1): 153-166.
53. Rodríguez EA, Rey PAS, Godoy JA. Efectividad de los aceites esenciales de *Thymus vulgaris* (Tomillo) y *Origanum vulgare* subsp. *Hirtum* (Orégano griego) probados contra *Ralstonia solanacearum* fitopatógeno del cultivo de *Solanum lycopersicum* (Tomate). *Revista Environment & Technology*, 2021, 2(1): 1-18.
54. Siddique S, Parveen Z, Butt A, Chaudhary MN, Akram M. Composición química y actividades insecticidas de aceites esenciales de Myrtaceae contra *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Revista Polaca de Estudios Ambientales*, 2017, 26(4).
55. Cid-Pérez TS, Ávila-Sosa R, Ochoa-Velasco CE, Rivera-Chavira BE, Nevárez-Moorillón GV. Actividad antioxidante y antimicrobiana del aceite esencial de orégano mexicano (*Poliomintha longiflora*), hidrolato y extractos de residuos sólidos de desecho. *Plantas*, 2019, 8(1): 22.
56. Teke MA, Mutlu Ç. Efectos insecticidas y conductuales de algunos aceites esenciales vegetales contra *Sitophilus granarius* L. y *Tribolium castaneum*

- (Herbst). *Revista de Protección y Enfermedades de las Plantas*, 2021, 28(1): 109-119
57. Radünz M, Camargo TM, dos Santos Hackbart HC, Alves PIC, Radünz AL, Gandra EA, da Rosa Zavareze E. Composición química y actividades antioxidantes y antihiper glucemiantes in vitro de los aceites esenciales de clavo, tomillo, orégano y naranja dulce. *Lwt*, 2021, 138, 110632.
 58. Perumal AB, Huang L, Nambiar RB, H, Y, Li X, Sellamuthu PS. Aplicación de aceites esenciales en películas de embalaje para la conservación de frutas y verduras: una revisión. *Química de los alimentos*, 2020, 375: 131810.
 59. Fierascu RC, Fierascu I, Baroi AM, Ortan A. Aspectos seleccionados relacionados con las plantas medicinales y aromáticas como fuentes alternativas de compuestos bioactivos. *Revista Internacional de Ciencias Moleculares*, 2021, 22(4): 1521.
 60. Madrid-Garcés TA. Microbioma y parámetros intestinales, metabólicos y zootécnicos de pollos alimentados con aceite esencial de orégano (*Lippia origanoides*) en un modelo de inflamación intestinal in vivo (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín). Repositorio CATIEACCR. 2021, Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6562>
 61. Madrid-Garcés TA, López-Herrera A, Parra-Suescún JE. La ingesta de aceite esencial de orégano (*Lippia origanoides*) mejora la morfología intestinal en Broilers. *Archivos de zootecnia*, 21018, 470-476.
 62. Jaramillo-Colorado BE, Vega-Díaz R, Pino-Benítez CN. Composición química volátil del *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng colombiano.

Aceite esencial y su acción biocida contra *Tribolium castaneum* (Herbst).
Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 2022, 16(1).

63. Han X, Parker TL. Anti-inflammatory, tissue remodeling, immunomodulatory, and anticancer activities of oregano (*Origanum vulgare*) essential oil in a human skin disease model. *Biochimie Open*, 2017, 4: 73-77.
64. Lima IO, Pereira FDO, Oliveira WAD, Lima EDO, Menezes EA, Cunha FA, Diniz MDFFM. Actividad antifúngica y modo de acción del carvacrol contra cepas de *Candida albicans*. *Revista de investigación de aceites esenciales*, 2013, 25(2): 138-142.
65. Ramón-Arbués E, Martínez-Abadía B, Granada López JM, Echániz-Serrano E, Pellicer-García B., Juárez-Vela R, Sáez-Guinoa M. Conducta alimentaria y su relación con el estrés, la ansiedad, la depresión y el insomnio en estudiantes universitarios. *Nutrición hospitalaria*, 2016, 36(6): 1339-1345.
66. Hernández Puentes YZ. Aterosclerosis y sistema aterométrico. *Revista Cubana De Medicina Militar*, 2016, 45(2), 183-194.
67. Ortiz RE, Afanador G, Vásquez DR, Ariza-Nieto C. Efecto del aceite esencial de orégano sobre el desempeño productivo de ponedoras y la estabilidad oxidativa de huevos enriquecidos con ácidos grasos poliinsaturados. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 2017, 64(1): 61-70.
68. Marín-Tinoco RI, Ortega-Ramírez AT, Esteban-Méndez M, Silva-Marrufo O, Barragán-Ledesma LE, Valenzuela-Núñez LM, Navarrete-Molina C. Actividad antioxidante y antibacteriana del aceite esencial de orégano mexicano, extraído de plantas que se encuentran naturalmente en zonas

semiáridas y cultivadas en campo e invernadero en el Norte de México.

Moléculas, 2023, 28(18): 6547.

69. Dantas AGB, de Souza RL, de Almeida AR, Xavier Júnior FH, Pitta MGDR, Rêgo, MJBDM, Oliveira EE. Desarrollo, caracterización y evaluación inmunomoduladora de nanoemulsión cargada de carvacrol. *Moléculas*, 2021, 26(13): 3899.
70. Dantas BPV, Alves QL, de Assis KS, Ribeiro TP, de Almeida, MM, de Vasconcelos AP, Silva DF. Participación del canal TRP en los efectos cardiovasculares inducidos por carvacrol en rata normotensa. *Farmacología vascular*, 2015, 67: 48-58.
71. Hernández JLC, González, MJC, Galiana MA, Hernández EYR. Síndrome metabólico, un problema de salud pública con diferentes definiciones y criterios. *Revista Médica de la Universidad Veracruzana*, 2018, 17(2), 7-24.
72. Mora-Morales E. Estado actual de la diabetes mellitus en el mundo. *Acta médica costarricense*. 2014, 56(2): 44-46.
73. López-Rivera RJ, Espinosa-Andrews H, García-Márquez E, Herrera-Rodríguez SE. Efecto antifúngico de emulsiones a base de aceite esencial de orégano mexicano (*Lippia graveolens*), contra *Candida albicans*. *Salud Jalisco*, 2018, 5(1): 42-45.
74. Sarikurkcü C, Zengin G, Oskay M, Uysal S, Ceylan R, Aktumsek A. Composición, actividades antioxidantes, antimicrobianas y de inhibición enzimática de dos aceites esenciales de subespecies de *Origanum vulgare* (subsp. *vulgare* y subsp. *hirtum*). *Cultivos y Productos Industriales*, 2015, 70: 178-184

75. López-Martínez LX, Aguilar Cisneros LM, Dublán-García O. Antioxidant and inhibitory activity against α -glucosidase and α -amylase from three varieties of onion (*Allium cepa* L.). *Nova scientia*, 2014, 6(12): 234-347.
76. Di Liberto D, Iacuzzi N, Pratelli G, Porrello A, Maggio A, La Bella S, Carlisi D. Efecto citotóxico inducido por el aceite esencial de orégano siciliano en células de cáncer de mama humano. *Celdas*, 2023, 12(23): 2733.
77. Marrelli M, Statti GA, Conforti F. *Origanum* spp.: Actualización de sus perfiles químicos y biológicos. *Revisiones de fitoquímica*. 2018, 17: 873-888.
78. Fierascu RC, Fierascu I, Baroi AM, Ortan A. Aspectos seleccionados relacionados con las plantas medicinales y aromáticas como fuentes alternativas de compuestos bioactivos. *Revista Internacional de Ciencias Moleculares*, 2021, 22(4): 1521.
79. Kordali S, Kabaagac G, Sen İ, Yılma F, Najda A. Efectos fitotóxicos de extractos de tres especies de *Origanum* y aceite esencial sobre la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas de cuatro especies de malezas. *Agronomía*, 2022, 1(10): 2581.
80. El-Sawy NA, Alkushi AG, Alasmar, WAM, Sinna MM, Header EA, El-madbouly MA, Sakran AMEA. ¿El orégano protege contra la toxicidad testicular producida por etilenglicol en ratas macho albinas adultas? *International Journal of Morphology*, 2019, 37(1): 358-362.
81. Di-Liberto D, Iacuzzi N, Pratelli G, Porrello A, Maggio A, La Bella S, Carlisi D. Efecto citotóxico inducido por el aceite esencial de orégano siciliano en células de cáncer de mama humano, *Celdas*. 2023, 12(23): 2733.

82. Perumalsamy H, Shanmugam R, Kim JR, Anandapadmanaban G, HuqMd A, Dua K, *et al.* Nanoemulsion and encapsulation strategy of hydrophobic oregano essential oil increased human prostate cancer cell death via apoptosis by attenuating lipid metabolism. *Bioinorganic Chemistry and Applications*. 2022 1–11. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9162876/>
83. Osaili TM, Dhanasekaran DK, Zeb F, Faris ME, Naja F, Radwan H, *et al.* A Status Review on Health-Promoting Properties and Global Regulation of Essential Oils. *Molecules* 2023, 28(4): 1809.
84. Goze I, Alim A, Cetinus SA, Çetin A, Durmus N, Atas AT, *et al.* In vitro antimicrobial, antioxidant, and antispasmodic activities and the composition of the essential oil of *Origanum acutidens* (Hand. -Mazz.) letsvaart. *Journal of Medicinal Food*, 2010, 13(3): 705–9.
85. Karagöz H, Karagöz FP. Areas of Utilization of *Origanum acutidens* (HAND. -MAZZ.) letsvaart and Carvacrol. *International Journal of Current Research and Academic Review*, 2019, 7(2): 46–55.
86. Marrelli M, Statti GA, Conforti F. *Origanum* spp.: an update of their chemical and biological profiles. *Phytochemistry Reviews*, 2018 17(4): 873–88.
87. Loizzo MR, Tundis R, Menichini F. Natural and synthetic tyrosinase inhibitors as antibrowning agents: An update. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2012, 11(4): 378–98.
88. Mechergui K, Coelho JA, Serra MC, Lamine SB, Boukhchina S, Khouja ML. Essential oils of *Origanum vulgare* L. subsp. glandulosum (Desf.) letsvaart

- from Tunisia: chemical composition and antioxidant activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010, 90(10): 1745–9.
89. Mechergui K, Jaouadi W, Coelho JP, Khouja ML. Effect of harvest year on production, chemical composition and antioxidant activities of essential oil of oregano (*Origanum vulgare* subsp glandulosum (Desf.) letswaart) growing in North Africa. *Industrial Crops and Products*, 2016, 90:32–7.
 90. Conforti C, Dianzani C, Agozzino M, Giuffrida R, Marangi GF, di Meo N, et al. Cutaneous manifestations in confirmed COVID-19 patients: A systematic review. *Biology*, 2020, 9(12): 449.
 91. Assis-Souza, PG. Estudio fitoquímico de *Baccharis myriocephala* e avaliação sobre a liberação de mediadores pró-inflamatórios. Universidade Federal de Minas Gerais Faculdade de Farmácia programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas, 2022,1; 38–75.
 92. Massoud H, Abdalah M, Mosa A, Nour Eldeen E. Effect of water stress and foliar spray of humic acid on growth and essential oil quality of marjoram (*Majorana hortensis* Moench) Plant. *Journal of Plant Production*, 2010, 1(8): 1113–23
 93. Bouyahya A, Chamkhi I, Benali T, Guaouguaou FE, Balahbib A, El Omar N, El Menyiy N. Uso tradicional, fitoquímica, toxicología y farmacología de *Origanum majorana* L. *Journal of ethnopharmacology*, 2021, 265(2): 113318.
 94. Martucci JF, Gende LB, Neira LM, Ruseckaite RA. Oregano and lavender essential oils as antioxidant and antimicrobial additives of biogenic gelatin films. *Industrial Crops and Products*, 2015, 71:205–13.

95. Oniga I, Pușcaș C, Silaghi-Dumitrescu R, Olah NK, Sevastre B, Marica R., Hanganu D. *Origanum vulgare* ssp. *vulgare*: Composición química y estudios biológicos. *Moléculas*, 2018,23 (8), 2077.
96. Ocaña-Fuentes A, Arranz-Gutiérrez E, Señorans FJ, Reglero G. Supercritical fluid extraction of oregano (*Origanum vulgare*) essential oils: Anti-inflammatory properties based on cytokine response on THP-1 macrophages. *Food and Chemical Toxicology*, 2010, 48(6): 1568–75.
97. Han F, Ma G, Yang M, Yan L, Xiong W, Shu J, *et al.* Chemical composition and antioxidant activities of essential oils from different parts of the oregano. *Journal of Zhejiang University Science B*. 2017. 18(1): 79–84. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5260481/>
98. Begnini KR, Nedel F, Lund RG, Carvalho PH de A, Rodrigues MRA, Beira FTA, *et al.* Composition and antiproliferative effect of essential oil of *Origanum vulgare* against tumor cell lines. *Journal of Medicinal Food* 2014, 17(10): 1129–33. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25230257/>
99. Misharina TA, Samusenko AL. 2008. Antioxidant properties of essential oils from lemon, grapefruit, coriander, clove, and their mixtures. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 44: 438-442.
100. Sarikus, G. 2006. Antimicrobial activity of whey protein based edible films incorporated with oregano, rosemary and garlic essential oils." *Food research international*, 39,5. 639-644.
101. Capítulo 33, Aceites esenciales y resinoides; preparaciones de perfumería, de tocador o de cosmética. Ley de los Impuestos Generales de Importación

- y de Exportación (27-12-2023) México. Disponible en:
https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIGIE_2022.pdf
102. International Trade Centre. Trade Map Importaciones [base de datos en línea]. Disponible en: <https://intracen.org/>
103. International Trade Centre. TradeMap Exportaciones [base de datos en línea]. Disponible en: <https://intracen.org/>
104. Persistence Market Research. Oregano Oil Market. Persistence Market Research; 2023. Disponible en:
<https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/oregano-oil-market.asp>
105. EMR Aclaight Enterprise. Análisis del Mercado de Aceite de Orégano. EMR Aclaight Enterprise; 2024, Disponible en:
<https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-de-aceite-de-oregano>
106. Ibáñez-Sánchez, ME. Efectos nutricionales de una dieta sin gluten en adultos celíacos y no celíacos [tesis en internet]. España: Universitat de les Illes Balears; 2017, Disponible en:
https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/146188/tfm_2016-17_MNAH_mis352_865.pdf?sequence=1
107. Ceballos-Toro V; Londoño-Giraldo, LM. Aceites esenciales en la conservación de alimentos. Repositorio Institucional Unilibre. 2017, 6: 38-49. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/17599>
108. Sánchez-Llambí, M. Los Aceites Esenciales: La Perfecta Medicina de la Naturaleza. Balboa Press, 2016. 142 p.

109. Acevedo D, Navarro M, Monroy L. Composición química del aceite esencial de hojas de orégano (*Origanum vulgare*). Scielo. 2013 24(4), 43-48. Disponible en <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000400005>

**PENSAMIENTO CRÍTICO: ESENCIAL PARA EL CRECIMIENTO Y
DESARROLLO DEL INDIVIDUO Y SU CONVIVENCIA CON OTROS**

**CRITICAL THINKING: ESSENTIAL FOR THE GROWTH AND
DEVELOPMENT OF THE INDIVIDUAL AND THEIR COEXISTENCE
WITH OTHERS**

Alejandro Moreno Reséndez

Cuerpo Académico Sistemas Sustentables para la Producción Agropecuaria, Consolidado,
Clave: UAAAN-CA-14. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – Unidad Laguna.
Periférico Raúl López Sánchez km 1.5 y Carretera a Santa Fe, s/n. Torreón, Coahuila de
Zaragoza, México, CP: 27059. Teléfono: 8712120557. ORCID: [http://orcid.org/0000-0001-8858-](http://orcid.org/0000-0001-8858-0190)

0190

Correo electrónico: alejamorsa@yahoo.com.mx y alejamorsa@hotmail.com

RESUMEN

En la actualidad, y a través de la historia del género humano, entre los principales retos de las instituciones de educación, de todos los niveles, ha sido la formación de recursos humanos de calidad, críticos y analíticos, así como el promover su desarrollo humanístico, relacionado con la creatividad, la imaginación y el pensamiento crítico. Además, a raíz de los cambios acelerados en los ciclos de vida, los sistemas educativos buscan responder a las necesidades y desafíos que

surgen de forma permanente, para lo cual han puesto de relieve y recalcado rutas de formación capaces de ayudar a cada individuo a llevar una vida productiva, a disfrutar de una calidad de vida y a contribuir al desarrollo sostenible local, nacional e internacionalmente. En este contexto, es ampliamente reconocido que, ³⁷ el debate crítico favorece la interconexión de posturas opuestas, mediante procesos de reflexión, indagación, defensa y juicio razonado: es decir, contribuye al desarrollo del pensamiento crítico de los individuos, y al poseer capacidades y destrezas para enfrentar y resolver diversos problemas de su entorno e interés, contribuye, de manera significativa, a la transformación de la realidad.

Palabras clave: análisis mental, capacidad cognitiva, habilidades y destrezas, generación de conocimiento, reflexión

ABSTRACT

Currently, and throughout the history of the human race, one of the main challenges for educational institutions, at all levels, has been the training of quality, critical and analytical human resources, as well as promoting their humanistic development, related to creativity, imagination and critical thinking. Educational systems seek to respond to the needs and challenges that arise permanently, for which they have highlighted and emphasized training routes capable of helping each individual to carry out a productive life, to enjoy a quality of life and to contribute to sustainable development locally, nationally and internationally. In this context, it is widely recognized that ³⁹ critical debate favors the interconnection of opposing positions, through processes of reflection, inquiry, defense and reasoned

judgment: that is, it contributes to the development of individuals' critical thinking, and by possessing the capabilities and skills to face and solve various problems in their environment and interest, they contribute, significantly, to the transformation of reality.

Keywords: abilities and skills, cognitive capacity, generation of knowledge, mental analysis, reflection

INTRODUCCIÓN

El pensamiento de los individuos es una capacidad innata y exclusiva, que permite interactuar con otros y con su entorno. Cuando el pensamiento se realiza de forma crítica, esta actividad cognitiva permite la construcción de nuevos conocimientos, con los cuales se logra atender, resolver o solucionar diversos problemas. Por lo anterior, con el presente ensayo se pretende describir aspectos vinculados al pensamiento crítico (PC) incluyendo su importancia, así como sus características y beneficios, también, de forma breve, de cómo se puede promover su desarrollo entre los individuos, buscando una mejor interacción entre los seres humanos y de ellos con su entorno o realidad. El PC es una necesidad apremiante que debe ser promovida y/o impulsada, cada vez más, desde temprana edad en los estudiantes, ya que, únicamente ² un pensamiento que pueda discernir entre diferentes posiciones y construir visiones propias, del mundo circundante, de una manera crítica y argumentada puede quebrantar la anarquía de la falsedad y la desinformación (1).

El pensamiento como actividad humana

En términos generales, el pensamiento es la capacidad, habilidad o competencia, general ²³ del ser humano para procesar información y construir conocimiento, combinando representaciones, operaciones y actitudes mentales, en forma automática, sistemática, creativa o crítica, para generar conocimientos o creencias, plantear problemas y buscar soluciones, tomar decisiones y comunicarse e interactuar con otros, y, establecer metas y medios para su logro (2, 3, 4). Por su parte, la calidad de pensamiento que un sujeto es capaz de desarrollar sobre un determinado tema, cuestión o problema está determinada, en gran medida, por el conocimiento que él posee, o es capaz de generar, sobre el tema mismo y en consecuencia sería imposible esperar que quien es ignorante, en un campo o área del conocimiento determinado, sea capaz de realizar juicios de valor o realizar inferencias explicativas adecuadas (5).

Zuluaga-Marín *et al.* (1) describen que la acción de ² pensar es un proceso complejo de carácter multidimensional: es una habilidad que puede desarrollarse y está determinada por factores exógenos y endógenos a cada individuo. También señalan que, en términos generales, el pensamiento: ² facilita el desarrollo de habilidades para identificar, relacionar y clasificar objetos, situaciones o eventos, e incluye: la observación, la descripción, la comparación, la relación y la identificación de características esenciales.

¹²
El pensamiento dirige al hombre hacia el conocimiento. Puede ver, oír leer y aprender lo que desee y tanto cuanto desee; nunca sabrá nada de ello, excepto

por aquello sobre lo cual haya reflexionado; sobre aquello qué por haberlo pensado, lo ha hecho propiedad de su propia mente.

Pestalozzi

Sin embargo, un ¹⁶ inadecuado desarrollo de las habilidades del pensamiento y de la percepción sobre el aprendizaje dan como resultado la ¹⁶ diada - conocimiento frágil y pensamiento pobre - que se nutre de una percepción del saber acumulativo, memorístico, rutinario, doctrinario, exento de todo asomo de la más leve curiosidad; y si la hubiera - que si la hay - a veces suele encontrarse con una contraparte perfecta que la asesina: el pensamiento pobre y el conocimiento frágil de quienes participan en actividades académicas (6).

Concepto de pensamiento crítico

El pensamiento crítico (PC), desde la perspectiva de ⁶ diferentes disciplinas, como la filosofía, la sociología, la psicología y la educación, se ha definido como un tipo de pensamiento elaborado, es decir, como una actividad cognitiva que implica evaluación y reflexión. Es una habilidad que permite construir nuevos conocimientos, y la utilización estratégica de los mismos, para atender, resolver o solucionar problemas presentes en la vida cotidiana. Es por tanto, una herramienta relevante para el proceso de formación de recursos humanos, de calidad, en todos los niveles educativos (4, 7). De Anglat (8), señala que el PC, es aquel ⁴⁴ pensamiento reflexivo, que, mediante el cuidadoso análisis de los argumentos, busca evidencia válida y conclusiones fundamentadas.

El PC también puede ser ⁵ definido como un proceso activo, persistente y minucioso, que conlleva un impacto considerable sobre algo o alguien; desde el

punto de vista activo,⁵ le permite al pensante un proceso permanente de autorregulación, es decir, reflexionar y cuestionar su pensamiento en relación con el otro; persistente porque incluye un alto nivel de disposición y tiempo para analizar la información a la que se accede; y minucioso debido a que la evaluación debe ser profunda y exhaustiva, con el propósito de asumir una posición frente a ésta (7). Respecto del PC, Sepúlveda-Obreque *et al.* (9) mencionan que se trata de un proceso mental complejo, el cual involucra diversas de operaciones mentales como: recordar, resolver problemas, tomar decisiones, razonar, evaluar, entre otras y concluyen que es una competencia difícil de desarrollar, menos aún si no se realiza sistemáticamente.

Adicionalmente, de acuerdo con el panel de expertos del Proyecto Delphi, de la *American Philosophical Association*, el PC²¹ se define como el proceso que permite establecer juicios intencionales y autorregulados basados en la interpretación, el análisis, la evaluación y la inferencia, así como en la consideración de los aspectos conceptuales, metodológicos, criteriológicos o contextuales que influyen en dichos juicios (4, 7, 9, 10, 11, 12, 13); asimismo, el PC es aquel que permite, por un lado,¹⁹ que cada individuo se libere de sí mismo, posibilita pensar de manera diferente, en lugar de legitimar lo que ya se conoce, y por otro lado,⁸ aprender hasta qué punto el esfuerzo de pensar la propia historia, puede liberar al pensamiento de lo que piensa, permitiéndole pensar de manera diferente. Es decir, es la posibilidad de pensar adecuada y correctamente sin prejuicios ni esquemas mentales coercitivos y a la vez la posibilidad de pensar la realidad, y de esta forma cuestionarla y transformarla (4, 14). Como complemento, el PC se considera como una herramienta interpretativa que permite discernir lo

útil de lo inútil, lo falso de lo comprobable, lo superfluo de lo necesario e, incluso favorece evaluar el propio conocimiento y la necesidad, dado el caso, de ampliarlo o profundizarlo (15). Los medios que promueven la independencia individual, y reducen la dependencia dogmática, son la discusión racional y el PC (16).

Características del pensamiento crítico

¹⁷ El PC requiere de un sujeto que lo produzca y lo repiense. Si no, sería metafísica³. El carácter histórico se lo otorga el sujeto humano que lo discierne. Es decir, el PC tiene como criterio de verdad al sujeto humano concreto. Lo uno no se da sin el otro, ni el uno sin lo otro. Sin PC el ser humano es abstraído y ve amenazada su existencia; sin ser humano no hay PC, ni siquiera pensamiento. De aquí la ineludible reflexión sobre el sujeto para fundamentar el PC (7, 17). El PC está compuesto por habilidades y disposiciones. Las habilidades representan “el saber que hacer”. Las disposiciones son el componente motivacional. ⁵ La motivación guía al individuo a utilizar habilidades en situaciones reales, propias de los escenarios en los que está inmerso (7).

El PC implica la adquisición o desarrollo de una capacidad que permite el razonamiento reflexivo, centrado en el decidir y el qué hacer, partiendo del análisis racional de la información disponible (2). Además, éste es propositivo, es un juicio autorregulado que se deriva del análisis, de la interpretación y del empleo de estrategias que estimulan el pensamiento en pro de la construcción del conocimiento (18, 19). También está ²⁹ orientado en el qué hacer, por qué hacerlo, cuándo hacerlo, en qué creer o no, qué valor tiene para sí, para la sociedad y

³ Parte de la filosofía que trata del ser en cuanto tal, y de sus propiedades, principios y causas primeras. Diccionario de la lengua española - Vigésima segunda edición. < <http://www.rae.es/drae/>>.

autoevalúa el proceso, así como los resultados de su aprendizaje y refleja una actitud autorregulada (18). Los individuos autorregulados administran, de forma adecuada y correcta, el tiempo dedicado al estudio, establecen metas inmediatas altas con estándares elevados de satisfacción y monitoreadas por ellos con mayor precisión, también presentan mejor eficiencia y mayor persistencia frente a los obstáculos que llegan a enfrentar (20).

“Muy pocos en este mundo buscan realmente el conocimiento, ...en realidad pocos preguntan. Por el contrario, tratan de extraer de lo desconocido las respuestas que ya han moldeado en sus propias mentes – justificaciones, explicaciones, formas de consuelo sin las cuales no pueden continuar. Preguntar realmente es abrir la puerta a un torbellino. La respuesta puede aniquilar la pregunta y a quien la formula”.

Ann Rice, 1985.

De Anglant (8) resalta como características del individuo que ha logrado desarrollar el PC, las siguientes:

- Tiene voluntad para ¹⁸ conformar su juicio y acción con principios y no simplemente una habilidad para hacerlo
- Posee carácter, inclinado a buscar, y a basar juicios y acciones en razones
- Rechaza la parcialidad y la arbitrariedad
- Comprometido con la evaluación objetiva de la evidencia sobresaliente
- Valora la honestidad intelectual

- Respeto la evidencia, la consideración empática e imparcial de los intereses, objetividad e imparcialidad
- Manifiesta diligencia por conocer la realidad
- Posee humildad para reconocer que puede equivocarse
- Tiene autoconfianza y es emocionalmente estable

Montoya (14) destaca que el PC es aquel mediante el cual el individuo en general y el estudiante en particular:

- ⁸ Reconoce, define y resuelve problemas diversos que se le presentan tanto en el plano teórico como práctico
- Recoge y analiza los diferentes datos e interpreta los resultados
- Lee, critica y evalúa el material escrito
- Analiza y enfoca una situación o problema desde una perspectiva nueva, original o imaginativa

En atención a que el PC promueve el desarrollo de capacidades, destrezas y habilidades que permiten que cada individuo logre transformar su vida y la de los demás, es necesario que a través de las actividades de aprendizaje el estudiante aprenda a (21):

- Cuestionarse, a proponer alternativas diferentes, a construir y no tanto a destruir
- Usar la intuición, la imaginación y el pensamiento divergente
- Ser un ciudadano autónomo, capaz de actuar y de tomar decisiones con criterio propio

28

- Conocerse y examinarse a sí mismo
- Tomar en serio el punto de vista de los demás, con lo cual contribuye a la convivencia democrática, la tolerancia y la resolución pacífica de los conflictos

En el mismo sentido, Tenreiro-Vieira y Marques-Vieira (5) proponen que los alumnos que aspiren a desarrollar el PC, deberán ser capaces de:

- Pensar de manera integral y profunda, observando y analizando información, experiencias o ideas, discrepando con criterios implícitos o explícitos, con miras a obtener una posición razonada
- Citar diversos conocimientos, desde una matriz científica y humanística, empleando diferentes metodologías y herramientas para pensar críticamente
- Predecir y evaluar el impacto de sus decisiones y
- Desarrollar ideas y soluciones, de forma imaginativa e innovadora, como resultado de la reflexión personal o de la interacción con otros, aplicándolas a diferentes contextos y áreas de aprendizaje.

Por su parte, y de forma complementaria, Betancourth-Zambrano *et al.* (7), destacan que, el PC ²⁴ es entendido como un modo de pensar autodirigido, auto disciplinado, autorregulado y autocorregido, a través del cual cada individuo se apodera de las estructuras inherentes al acto de pensar, sometiéndolas a estándares intelectuales, con el fin de mejorar su calidad; y por consecuencia, ¹⁴ un pensador crítico es capaz de formular problemas, preguntar con claridad,

interpretar información, establecer conclusiones y evaluar las consecuencias subyacentes.

La vinculación de la motivación con la disposición, como procesos cognitivos de los individuos que desarrollan el PC, cobran trascendencia en virtud de que, la motivación les genera el interés necesario para mantener activados estos procesos, mientras que el componente de disposición, además de reconocer que el PC no solo está ³⁸ conformado por complejas habilidades cognitivas, sino también por un espíritu crítico, el cual está relacionado tanto con las habilidades dialógicas de los sujetos, como su capacidad para emplearlo (4). En palabras de Zuluaga-Marín *et al.* (1), el PC se caracteriza ² como un proceso activo y hábilmente conceptualizable, aplicable, analizable, sintetizador y evaluador de la información generada u obtenida a través de la observación, la experiencia, la reflexión, el razonamiento o la comunicación, como una guía para la toma de decisiones. En consecuencia, la toma de decisiones y la resolución de problemas permitirán que los individuos piensen en su medio circundante y en sus capacidades como agentes activos y transformadores (1). Ambos aspectos se realizarán en un entorno recalcado por una mentalidad abierta y con honestidad intelectual, donde todos puedan colaborar y comunicarse, argumentado, contra argumentado y generando consensos, para lograr un objetivo o bien común y significativo (5).

Beneficios del pensamiento crítico

La importancia de impulsar el desarrollo del PC se debe a que, existe la necesidad de resistir los poderes hegemónicos que intentan restringir la consecución de los ideales de la universidad pública, debido al sometimiento económico y político en el que se intenta colocarla (22). En este sentido, es necesario reconocer que el PC

no significa de ninguna manera criticarlo todo, sino desarrollar una capacidad creativa que permita a cada individuo transformar su vida ¹⁹ y la de los demás, fundamentada en los mejores avances de las ciencias y las humanidades. Para ello, los individuos deben saber distinguir entre las creencias y las costumbres y el conocimiento científico basado en evidencias (21). El empleo del conocimiento científico, por parte de los individuos, durante sus etapas de formación académica, les permitirá superar creencias ingenuas, además de evitar el empleo de informaciones falaces de su entorno social (2)

Como parte esencial del proceso de enseñanza – aprendizaje, el PC ⁵ convierte al individuo en dinamizador de sus propios procesos, proporcionándole herramientas para saber el por qué y para qué de su aprendizaje, así como para que logre la identificación de aquella información correcta de la que no lo es (7, 18). Al preferir ² un aprendizaje que induzca a reflexionar, pensar de manera crítica, observar el propio contexto y generar soluciones a las inquietudes que de allí surjan, se garantiza un aprendizaje que transformará el quehacer de cada individuo y la sociedad en la que se encuentra inmersa (1). Para Betancourth-Zambrano *et al.* (7) el desarrollo del PC ¹⁴ se consolida como uno de los mecanismos que viabiliza la formación y cualificación de ciudadanos responsables, éticos y comprometidos con la realidad social, al estar mediado por el fortalecimiento de habilidades que llevan a los estudiantes a ser autónomos intelectualmente y a asumir un rol activo en sus procesos de aprendizaje.

Promoción del desarrollo del pensamiento crítico

Tradicionalmente, el esquema educativo impulsado en las instituciones de educación, de todos los niveles, se reduce a la reproducción, repetición o

memorización de la información con poco o ningún grado de crítica (2). Este sistema ha promovido el aprendizaje pasivo, donde cada individuo solo recibe, memoriza y reproduce, sin cuestionar absolutamente nada (1), pues sólo el docente da instrucciones, sólo él juzga los resultados del aprendizaje de los alumnos, ellos pueden estar aprendiendo sin saberlo a desempeñarse en un papel de seguimiento de instrucciones, a no evaluar sino a ser evaluados (18), ante este panorama algunos estudiantes, sin motivación, aplican la ley del mínimo esfuerzo, durante su estancia en las instituciones de educación (23). También ¹⁵ se obstaculizan y hasta reprueban las actitudes y métodos de confrontación de ideas, de cuestionamiento, de análisis abierto, de diálogo horizontal, es decir, todo lo que conduce al desarrollo del PC y, por tanto, a la afirmación de personas y personalidades libres y diferentes que, por diferentes, analíticas y críticas aporten perspectivas nuevas y nuevas interpretaciones sobre los problemas y el mundo, empezando por el suyo propio (24).

El disenso, la crítica y la diversidad se perciben como aspectos amenazantes dentro los centros educativos, por lo que en éstos se han fomentado, marcadamente, las relaciones jerárquicas entre docentes y estudiantes e incluso entre directivos y educadores. Además, en la mayoría de los países, los programas educativos optan por fomentar la rentabilidad a corto plazo, a través del desarrollo de capacidades utilitarias y prácticas para generar rentas, puesto que el paradigma educativo de empresa, vigente, ha deteriorado el modelo humanístico que abona a la construcción de individuos autónomos y críticos: la calidad se expresa en términos de eficacia (1).

En contraparte, para promover el desarrollo del PC, entre otros aspectos, es indispensable que en las instituciones de educación, se impulsen y se de preferencia a los métodos de aprendizaje que incidan en los procesos cognitivos, afectivos y emocionales de los individuos, favoreciendo así, el incremento significativo de competencias y habilidades para la observación, el análisis, la valoración y posicionamiento frente a la realidad, que actúan como mecanismos, a través de los cuales ellos dirigen y controlan su proceso de aprender a aprender (19). Adicionalmente, los centros educativos deberían fomentar que cada individuo desarrolle capacidades y disposiciones necesarias para pensar si mismo, para no tragar entero, y para decidir adecuadamente desde un conjunto amplio de perspectivas, y utilizar diversas herramientas de conocimiento en diferentes situaciones (18).

Por lo anterior, resulta indispensable el implementar prácticas pedagógicas para favorecer el desarrollo de la criticidad, del diálogo, del individuo y, en consecuencia, el desarrollo adecuado de la sociedad (2). Adicionalmente, en palabras de Moreno-Pinado y Velázquez Tejeda (19), estos métodos deben desencadenar un conjunto de procesos cognitivos, afectivos, volitivos y emocionales que permitan la adquisición ¹² de capacidades y habilidades que estén orientadas a saber analizar e interpretar la información, establecer fundamentos sólidos para llevar a cabo inferencias, brindar explicaciones, elegir decisiones y resolver problemas. Aspectos que serán de gran trascendencia para las decisiones que habrá de aplicar en su vida diaria (2).

Además de los métodos mencionados, también resulta adecuado la implementación de técnicas enfocadas en lograr el desarrollo del PC, como son: la

discusión socrática, la controversia, el juego de roles, la detección de la información sesgada (7), y las actividades de investigación (2). Por ejemplo, la combinación de las técnicas controversia – socrática resultó efectiva para lograr que los individuos desarrollasen habilidades de PC, al fomentar sus capacidades para formular hipótesis, conjeturas y conclusiones, además de promover el empleo de argumentos claros y razonables basados en sus experiencias y en elementos teóricos, también se logró favorecer sus capacidades para autoevaluar sus pensamientos, incluso reconocer otros puntos de vista, así como avanzar hacia un razonamiento más complejo (2, 7).

Por su parte, en las actividades de investigación, su potencial educativo o de formación de recursos, los involucrados estarán sometidos a enfrentar decisiones y dilemas, pero requieren de autonomía para definir el rumbo de cada investigación, apropiándose del control del proceso (2, 18). Al realizar estas actividades el alumno tendrá oportunidad de reflexionar sobre personajes y circunstancias, y será necesario que comprenda acerca de hechos, valores y contextos presentes en la narrativa. Mientras que, el responsable de la conducción del proceso educativo, dejará de fungir como dueño del conocimiento, deberá fungir como mediador, sirviendo de guía, formulando preguntas, pero sin brindar respuestas listas, ante las inconsistencias en las decisiones de los estudiantes (2).

Al interior de las instituciones de educación, si dentro de sus objetivos se contempla la formación de recursos humanos con PC, se sugiere que fomentan, de acuerdo con Barros-da Silva *et al.* (2), entre su comunidad estudiantil, con el apoyo del personal académico, el desarrollo de diversas capacidades (cuadro 1).

Cuadro 1. Áreas y listado de capacidades que favorecen el desarrollo del pensamiento crítico.

Áreas	Capacidades
	Centrarse en una pregunta
Aclaración elemental	Analizar argumentos
	Elaborar y responder preguntas aclaratorias y desafiantes
Soporte básico	Evaluar la credibilidad de una fuente
	Efectuar y evaluar observaciones
	Hacer y valorar deducciones
Inferencia	Realizar y evaluar inducciones
	Hacer y determinar juicios de valor
Aclaración elaborada	Definir términos y valorar definiciones
	Identificar supuestos
Estrategias y tácticas	Decidir una acción
	Interactuar con otros

Fuente: Barros-da Silva *et al.* (2)

Adicionalmente, para fomentar el PC, los centros educativos deberán de implementar acciones que estimulen ² la comprensión y el desarrollo de habilidades intelectuales que impulsen la formulación de inferencias, la predicción, la solución de problemas, la clasificación simple, el planteamiento y verificación de hipótesis,

12

la clasificación jerárquica, la definición de conceptos, el análisis, la síntesis, la evaluación y el razonamiento analógico (1) y también para contrarrestar el resurgimiento de movimientos autoritarios y fascistas, así como el conformismo irreflexivo (5).

Como complemento la implementación de ² pedagogías y métodos innovadores en las instituciones académicas, en pro de un cambio cultural y democrático que entienda la crítica no como un ataque personal, sino como disertación intelectual y ética, en un marco de acción que esté basado en el discurso de las ciencias del conocimiento científico, como manera de desarraigar el pensamiento basado en el prejuicio y las falsas creencias. Para fortalecer lo anterior, las instalaciones educativas deberán diseñarse para generar un microclima que promueva el aprendizaje, motive y estimule múltiples inteligencias, fomente aspectos positivos para aprender, como la creatividad, la curiosidad y la exploración (1).

CONCLUSIÓN

El desarrollo y/o adquisición del pensamiento crítico, por parte de los individuos, es la herramienta cognitiva que fomentará una mayor proactividad y flexibilidad ante los cambios sociales y culturales vigentes y los que habrán de presentarse. Lo anterior, permitirá además que cada individuo cuente con capacidades, destrezas y habilidades para enfrentarse a diversos y variados problemas, de su contexto e interés, y con cuya solución habrá de contribuir a la transformación de la realidad.

LITERATURA CITADA

1. Zuluaga-Marín M, Botero-Suaza JC., Martínez-Romero AM., Lopera-Ortega Y. 2022. Neurodidáctica y pensamiento crítico: perspectivas para la educación actual. *Educación y Educadores*, 25(2):1-18. <https://doi.org/10.5294/edu.2022.25.2.2>.
2. Barros-da Silva L. H.; Lopes-da Silva E., Francisco W. 2020. Construção de caso investigativo de laboratório para a promoção do pensamento crítico em aulas de Química. *Revista Eletrônica Poiesis*, 14(26):420-437. <https://doi.org/10.19177/prppge.v14e262020420-437>.
3. Villarini-Jusino AR. 2003. Teoría y pedagogía del pensamiento crítico. *Perspectivas Psicológicas*, 3-4, 35-42.
4. Ossa-Cornejo CJ, Palma-Luengo MR, Lagos-San Martín NG, Quintana-Abello IM., Díaz-Larenas CH. 2017. Análisis de instrumentos de medición del pensamiento crítico. *Ciencias Psicológicas*, 11(1); 19-28. <https://doi.org/10.22235/cp.v11i2.1343>
5. Tenreiro-Vieira C., Marques-Vieira R. 2022. Pensamento crítico e criativo para uma educação ciência-tecnologia-sociedade. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnologia y Sociedad*, 17(51): 141-155.
6. Fierro-Murga LE. 2003. Educar con ciencia la conciencia en el uso ético de la tecnología. In: Universidad Autónoma de San Luis Potosí (Ed.). *I Foro Nacional sobre la Incorporación de la Perspectiva Ambiental* (pp. 355-358). San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.
7. Betancourth-Zambrano S, Tabares-Díaz Y, Martínez-Daza V. 2021. Desarrollo del pensamiento crítico a través del debate crítico: una mirada cualitativa.

- Revista Interamericana de Investigación, Educación y Pedagogía*, 14(2):373-400. <https://doi.org/https://doi.org/10.15332/25005421.6645>.
8. de Anglat HD. 2005. El criticalthinkingmovement y la educación intelectual. *Estudios sobre Educación*, (9):167-187.
9. Sepúlveda-Obreque A, Quintana-Püschel M., Opazo-Salvatierra M, Lemarie-Oyarzún R Sáez-Sotomayor, D. 2013. Nivel de promoción de competencias genéricas-sello institucionales en educación básica, Parvularia y diferencial: percepción de los estudiantes. *Revista de Orientación Educacional*, 27(52):75-87.
10. Facione PA. 2007. Pensamiento Crítico: ¿Qué es y por qué es importante? *EDUTEKA*, 1-22.
11. González H. 2007. No coma entero, piense críticamente. *EDUTEKA*, 6-13.
12. Bur A. 2009. Desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes universitarios. In: O. Echeverría (Ed.). *XVII Jornadas de Reflexión Académica en Diseño y Comunicación*, (pp. 43-44). Universidad de Palermo, Buenos Aires, Argentina. Consultada el 13 de enero de 2013, desde:
http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/publicacionesdc/archivos/125_libro.pdf
13. Serrano-Sevilla MC. A. 2010. Aprender a mirar: «El internado», una propuesta para el pensamiento crítico. Comunicar: *Revista Científica de Educomunicación*, 16(31): 439-444.
14. Montoya J. I. 2007. Acercamiento al desarrollo del pensamiento crítico, un reto para la educación actual. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, 21: 1-15.

15. Peppino-Barale A. M. 2009. Lectura y pensamiento críticos: Estrategias para desenvolverse en el ciberespacio. *Tiempo Laberinto*, 5(20):7-11.
16. Echeverría J. 1995. El pluralismo axiológico de la ciencia. *Revista ISEGORÍN*, 12:44-79.
17. Angarita CE. 2009. Pensamiento crítico y análisis teológico de la realidad. Fundamentos para diálogos interdisciplinarios. *Revista Realidad*, (121): 535-561.
18. Mejía A., Zarama R. 2004. La promoción de pensamiento crítico en Ingeniería. *Revista de Ingeniería*, (20): 90-104. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i20.427>.
19. Moreno-Pinado WE, Velázquez Tejeda ME. 2017. Estrategia Didáctica para Desarrollar el Pensamiento Crítico. *Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación REICE*, 15(2):53-73. <https://doi.org/https://doi.org/10.15366/reice2017.15.2.003>.
20. de Corte E. 2015. Aprendizaje constructivo, autorregulado, situado y colaborativo: un acercamiento a la adquisición de la competencia adaptativa (matemática). *Revista Páginas de Educación*, 8(2): 69-87.
21. Secretaría de Educación Pública (SEP). 2011. *Tema 2: La formación del pensamiento crítico y científico. Curso Básico de Formación Continua para Maestros en Servicio, Relevancia de la profesión docente en la escuela del nuevo milenio 2011* (pp. 33-53). Dirección General de Formación Continua de Maestros en Servicio de la Subsecretaría de Educación Básica, de la Secretaría de Educación Pública, México, D.F.

22. Chapela M C, Cerda A., Jarillo E. 2008. Universidad-Sociedad: perspectivas de Jaques Derrida y Boaventura de Sousa Santos. *Revista Reencuentro*, 37, 77-86.
23. Bañuelos-Márquez A. M. 1993. Motivación escolar. Estudio de variables afectivas. *Perfiles Educativos*, (60):1-6.
24. de la Isla C. 2007. ¿Educación para la libertad o para el sometimiento? *Firgoa*, 1-9.

LA VERMICULTURA COMO ALTERNATIVA SUSTENTABLE EN ZONAS ÁRIDAS

VERMICULTURE AS A SUSTAINABLE ALTERNATIVE IN ARID ZONES

**Jorge Alejandro Aguirre Joya¹, Cristian Torres León¹, David Ramiro Aguillón
Gutiérrez^{1*}**

¹Laboratorio de bioindicadores, Centro de Investigación y Jardín Etnobiológico, Dr.

Francisco González 37, Viesca, Coahuila, México. CP. 27480.

*Autor para correspondencia: david_aguillon@uadec.edu.mx

RESUMEN

La lombricultura es una práctica agroecológica en la que se crían lombrices de tierra y se obtienen productos como la lombricompost y humus líquido que se pueden usar como fertilizantes orgánicos. Esto resulta de la descomposición de la materia orgánica por parte de la lombriz, que convierte los residuos en un abono nutritivo para las plantas. Además, estos productos pueden ser sustitutos de fertilizantes sintéticos. Se considera a la lombricultura como una práctica sustentable, ya que tiene beneficios económicos, sociales y ambientales. En zonas áridas la lombricultura podría ser una alternativa sustentable, ya que el

humus líquido y el vermicompost que genera puede usarse para cultivos o plantas que están en suelos con pocos nutrientes y con escasas de agua. Especialmente, la lombricultura podría implementarse en zonas rurales de zonas áridas donde las prácticas agrícolas son poco tecnificadas y con fines de autoconsumo o de comercio local, además, no usan o usan muy pocos agroquímicos. Un caso de referencia es el lombricario del Centro de Investigación y Jardín Etnobiológico de la Universidad Autónoma de Coahuila, localizado en Viesca, Coahuila. En este jardín a las plantas se les agrega el humus líquido y la lombricompost que se obtienen de este lombricario, El objetivo de este trabajo es exponer la experiencia obtenida en este jardín, indicando que también podría ser una estrategia sustentable para otros modelos de aprovechamiento de los recursos vegetales de zonas áridas.

Palabras clave: Lombrices, lombricompost, lombricultura, sustentabilidad, zonas áridas.

ABSTRACT

Vermiculture is an agroecological practice in which earthworms are raised and products such as vermicompost and liquid humus are obtained, which can be used as organic fertilizers. This results from the decomposition of organic matter by the worm, which converts the waste into nutritious fertilizer for plants. Furthermore, these products can be substitutes for synthetic fertilizers. Vermiculture is a sustainable practice with economic, social, and environmental benefits. In arid areas, vermiculture could be a sustainable alternative, as the liquid humus and

vermicompost it generates can be used for crops or plants growing in nutrient-poor soils and with limited water. Vermiculture could be implemented in rural areas of arid zones where agricultural practices are not very technological and for self-consumption or local trade purposes, and where they do not use or use very few agrochemicals. A case in point is the worm farm at the Autonomous University of Coahuila's Research Center and Ethnobiological Garden, located in Viesca, Coahuila. In this garden, liquid humus and vermicompost obtained from this worm farm are added to the plants. The objective of this work is to present the experience gained in this garden, indicating that it could also be a sustainable strategy for other models of utilization of plant resources in arid zones.

Keywords: Arid zones, sustainability, vermicompost, vermiculture, worms

Las lombrices

Las lombrices de tierra son oligoquetos (*Oligochaeta*) del filo Annelida. Tienen una piel húmeda con glándulas sensoriales y un cuerpo dividido en varios segmentos, por lo que se les llama gusanos segmentados. Los segmentos internos se llaman metámeros los cuales tienen una cavidad llamada celoma. Por fuera cada segmento está marcado por uno o varios anillos (*annellum* en latín), de ahí el nombre de anélidos (1).

En el suelo, las lombrices cavan y forman galerías a través de movimientos de contracción que hacen con sus cuerpos, de este modo facilitan la circulación de aire, agua y nutrientes en el suelo. Esto mantiene el suelo en las condiciones ideales para que se desarrolle la vegetación, además de que contribuye a que los

componentes de la materia orgánica se reciclen y se reincorpore a los ciclos biogeoquímicos. Las lombrices además contribuyen a que el suelo se mantenga adecuado para que las raíces de las plantas puedan crecer adecuadamente, además de que por estas acciones el suelo aumenta su capacidad de retener Humedad. La lombriz roja rayada (*Eisenia fetida*, Savigny) es ampliamente utilizada en los sistemas de lombricompost (Figura 1) (1, 2).

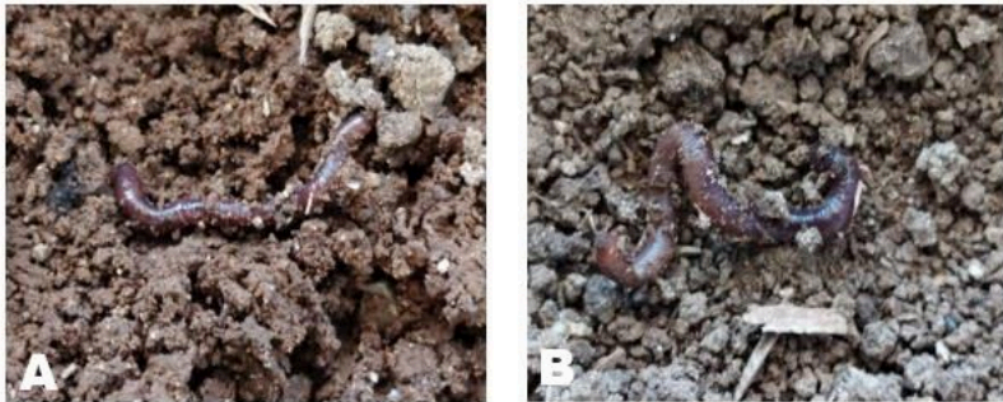


Figura 1. Lombrices rojas rayadas o también llamadas lombrices de California (*Eiseniafetida*). A) Lombriz con una parte de su cuerpo sobre la tierra. B) Lombriz con el cuerpo enrollado sobre la tierra.

Las zonas áridas

En general, se considera desierto o zona árida una región del mundo con características como las siguientes: baja pluviosidad (<90 a 500 mm de precipitación anual), ⁴ bajo contenido de humedad del suelo, baja humedad atmosférica, suelo desnudo, salino y seco, con movimientos de aire mayores que en climas húmedos, pequeñas perturbaciones ciclónicas y altas temperaturas diurnas (3, 4, 5, 6, 7, 8). ⁴ Durante el día, el desierto absorbe el 90 % de la radiación solar que calienta el suelo y la capa inferior del aire, ya que las partículas de polvo y las nubes solo se desvían un 10 %, mientras que, por la noche, el calor

acumulado durante el día se pierde, ya que el 90 % de ese calor se escapa a las capas superiores de la atmósfera (3, 4, 5, 6, 7, 8).

Existen diferentes criterios para clasificar los desiertos, por ejemplo, el criterio geomorfológico, según el ⁴ tipo de suelo, el criterio basado en la precipitación y la temperatura, criterios geográficos, criterios biológicos y agrícolas, entre otros. En general, las zonas áridas se clasifican en zonas extremadamente áridas o hiperáridas, áridas y semiáridas. El potencial biológico de los desiertos se ve gravemente limitado por la escasez de agua; por ejemplo, la vegetación xerofítica ⁴ está adaptada a esta condición. Los desiertos son ecosistemas actualmente amenazados, ya que actividades antropogénicas como la ganadería (sobrepastoreo), la agricultura, la introducción de especies exóticas, la contaminación, el cambio climático y la sobreexplotación de los recursos naturales los ponen en grave peligro, promoviendo la desertificación y formando áreas que carecen de los elementos naturales de los desiertos (3-8).

Las zonas áridas y semiáridas de México

Si consideramos que más del 60 % de la República Mexicana se encuentra entre los 20° y 40° de latitud norte, gran parte de su superficie está sujeta a condiciones áridas, que varían regionalmente debido a un conjunto de factores físicos y biológicos (6). Según Miranda (9), existe una estrecha relación entre el clima y la vegetación que determina las condiciones de un lugar. Las regiones áridas y semiáridas del país presentan una riqueza florística y faunística favorecida por la variedad de ambientes, desde aquellos influenciados por la franja global de zonas áridas hasta aquellos influenciados por las franjas tropicales (6). Esto permite la identificación de nueve regiones áridas en México: Sonorense, Chihuahuense

(Figura 2), Hidalguense, Poblana, Tamaulipeca, Guerrerense, Tehuantepeca, Veracruzana y Yucateca (9).

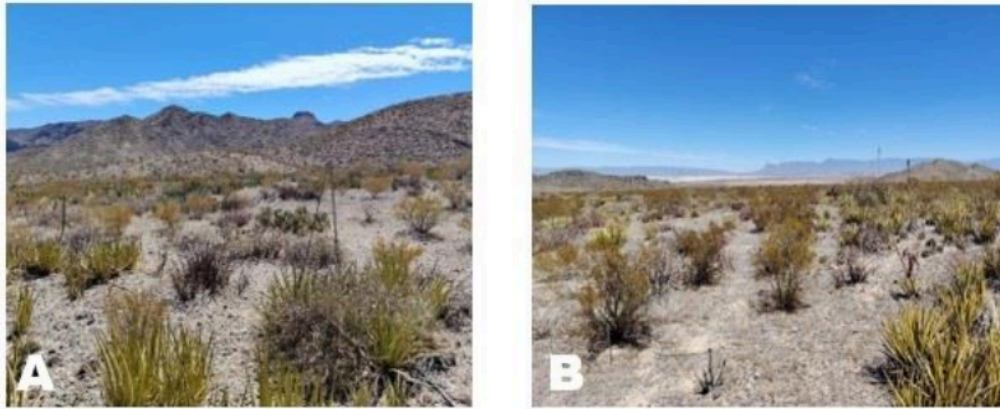


Figura 2. Paisajes del desierto chihuahuense. A) Vista del paisaje con montañas de fondo y con plantas nativas. B) Vista del paisaje con plantas nativas.

La sustentabilidad

La sustentabilidad o ²⁶ sostenibilidad, se refiere a la capacidad de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas. Implica un equilibrio entre el crecimiento económico, el cuidado del medio ambiente y el bienestar social. En esencia, se trata de usar los recursos de manera responsable y consciente, evitando que se agoten o que se dañe el ecosistema (10, 11).

Actualmente, muchos procesos están transitando hacia la sustentabilidad, eso significa que deben considerar los tres aspectos básicos del desarrollo sustentable: el crecimiento económico, el bienestar social y el cuidado del ambiente. Particularmente, en zonas áridas es prioritario que los procesos de

producción alcancen la sustentabilidad, ya que algunos recursos naturales como el agua o los nutrientes del suelo, son escasos (10, 11).

En el caso de la lombricultura, se cumple con los criterios de sustentabilidad, ya que los productos derivados de ella como el vermicompost y el humus líquido generan ingresos económicos, esto a su vez genera bienestar social y además, no requiere cantidades importantes de agua, no necesita de productos químicos sintéticos y no exige espacios grandes, todo esto favorece el aspecto ambiental.

La vermicultura, el vermicompost y sus beneficios

Según Sinha *et al.* (12) la vermicultura o lombricultura es una práctica agroecológica, también considerada ⁹ ecotecnia que mediante la cría y producción de lombrices permite transformar los residuos orgánicos en abonos y proteínas. Es también una alternativa para mitigar y eliminar el uso indiscriminado de recursos naturales y manejo inadecuado de residuos agrícolas, domésticos e industriales. Además, esta biotecnología limpia es una herramienta efectiva para la reconversión de residuos orgánicos biodegradables. La tecnología de lombricultura se está consolidando como una tecnología ambientalmente sostenible, económicamente viable y socialmente aceptable en todo el mundo.

Los beneficios de la lombricultura se pueden clasificar de la siguiente manera: 1) Tecnología de vermicompostaje (para gestionar la mayoría de los residuos orgánicos); 2) Tecnología de vermifiltración (para tratar aguas residuales municipales e industriales); 3) Tecnología de vermirremediación (para tratar y sanear terrenos contaminados); 4) Tecnología de vermiagroproducción (para producir alimentos orgánicos sin químicos mediante lombrices y vermicompostaje);

5) Tecnología de producción vermiindustrial (para producir valiosas materias primas industriales a partir de lombrices).

Sonko *et al.* (13) consideran la lombricultura como la base futura para ecosistemas agrícolas resistentes a las presiones antrópicas y se debe prestar especial atención a la lombricultura en el desarrollo de la agricultura alternativa. Su esencia es el uso de la lombriz de tierra para obtener, a partir de diversas sustancias orgánicas, un fertilizante ecológico (biohumus) que contiene un conjunto completo de macroelementos y oligoelementos para las plantas agrícolas.

²⁰ El proceso de lombricultura podría ser una iniciativa ecológica para el manejo de biosólidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), ²⁰ ya que estos presentarían características de abonos orgánicos, los cuales, pueden ser usados para cultivos no agrícolas de tipo ornamental y recuperación forestal (14).

La lombricultura también resulta ser un sistema sustentable en la producción de café, ya que se acelera el proceso de descomposición de la pulpa y mucílago de café y la lombricompost obtenida se usa en huertas y viveros como abono (15). También se puede aplicar la lombricultura en sistemas de producción bovina, ya que el estiércol de bovino precompostado en un biodigestor es apto como alimento para lombriz (16).

Importancia del vermicompost

⁹ En el intestino de la lombriz se realizan diversos procesos digestivos que incluyen la trituración, desdoblamiento, síntesis y enriquecimiento enzimático y microbiano de la materia orgánica consumida por la lombriz, lo que da como resultado una

degradación acelerada de los residuos y la obtención de abonos orgánicos con alto contenido de nutrientes. En México, la especie más utilizada con este fin es *E. fetida*, conocida comúnmente como “lombriz roja de California”. El lombricompost se puede aprovechar como abono orgánico, su costo de producción es casi nulo y trae beneficios ambientales importantes al ayudar no solo como abono, sino a mejorar las características físicas del suelo (17, 18, 19).

El vermicompostaje y la vermifiltración son procesos naturales de gestión de residuos que se basan en el uso de lombrices para convertir los residuos orgánicos en compuestos estables que enriquecen el suelo. El vermicompost de lombriz de tierra es un promotor y protector del crecimiento para los cultivos. Es rica en nitrógeno, potasio y fósforo, micronutrientes, microbios beneficiosos del suelo como bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fosfato, hongos micorrícicos, humus y hormonas del crecimiento como auxinas, giberlinas y citoquininas. Presenta una porosidad, aireación, drenaje y capacidad de retención de agua muy altas. También protege a las plantas contra diversas plagas y enfermedades, ya sea suprimiéndolas o repeliéndolas, o induciendo resistencia biológica en ellas. Se ha comprobado que la presencia de lombrices vivas en el suelo influye significativamente en el desarrollo y la calidad de las frutas en cultivos hortícolas y frutales. Las lombrices y el vermicompost pueden impulsar la producción hortícola sin la necesidad de agroquímicos. Esto proporcionará diversos beneficios sociales, económicos y ambientales a la sociedad al producir alimentos seguros, nutritivos y saludables (ricos en minerales y antioxidantes) para las personas. El uso de vermicompost mejora la fertilidad del suelo y previene su erosión y compactación. En experimentos con cultivos de maíz, trigo, tomate y

berenjenas, se observaron excelentes resultados de crecimiento en términos de altura de las plantas, color y textura de las hojas, apariencia de flores, frutos y espigas en comparación con los fertilizantes químicos y el compost convencional. Asimismo, se observa una menor incidencia de plagas y enfermedades y una menor demanda de agua para riego en las plantas cultivadas con vermicompost (20-23). Estos resultados, en específico el hecho de que en los cultivos donde se utilizó la vermicompost hubo una menor demanda de agua, demuestran que esta técnica es ideal para aplicarse en ambientes áridos.

El vermicompost como biofertilizante puede ser una excelente opción para el abonado de estanques, ya que no causa daños a largo plazo al suelo, como ocurre con los fertilizantes químicos. Además, hay una mayor capacidad de retención de agua en el suelo de los estanques y las lombrices producidas se utilizaron como alimento para peces. La unión de la lombricultura y la piscicultura es un modelo de bajo costo que integra dos sistemas de producción y podría ser una opción comercial y ambientalmente viable (24).

La aplicación del vermicompost en suelos agrícolas actúa como acondicionador y ayuda a mejorar sus propiedades físicas, biológicas y químicas. La producción de vermicompost también es un proceso económicamente productivo, ya que reduce los residuos en origen y en consecuencia, ahorra espacio en los vertederos, además es una fuente de ingresos adicionales y contribuye al equilibrio ambiental (25, 26).

Las lombrices como bioindicadores

Los bioindicadores son aquellos organismos que nos pueden dar información acerca de la calidad y salud del ambiente en el que viven. Existen organismos que

son más aptos que otros para darnos información sobre la contaminación o alteración de hábitats o medios como la atmósfera, el suelo y los cuerpos de agua. El impacto antropogénico en los ambientes puede favorecer a algunos organismos (en realidad se benefician de la eliminación de competencia y de los residuos humanos) o perjudicar a otros. En aquellos organismos que se ven afectados, pueden presentarse cambios a nivel morfológico, fisiológico o conductual (27, 28).

Las lombrices también pueden ser utilizadas como bioindicadoras de la calidad y salud ambiental, ya que cumplen con algunas de las características ideales de los bioindicadores, como poder sobrevivir en vida libre (biomonitoreos) y en condiciones de laboratorio (bioensayos), estar identificadas taxonómicamente, ser inofensivas, ser de poco movimiento, no estar en peligro de extinción y tener tejidos que pueden analizarse para medir su capacidad de bioacumulación o bioconcentración. Derivado de esto, las lombrices pueden usarse en procesos de biorremediación o vermirremediación como lo llaman Sinha *et al.* (12), quienes reportan se han utilizado las lombrices con éxito con la gestión de residuos sólidos urbanos, el tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales y en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). Según estos autores, los HAP de los suelos contaminados se eliminan en más del 80 % en tan solo 12 semanas.

La vermicultura puede utilizarse en la transformación de lodos de depuradoras urbanas (incluso en aquellas con contenido con metales pesados) para luego utilizarse en cultivos agrícolas, ya que son ricos en potasio y fósforo (29).

En algunas ocasiones las lombrices participan en un proceso llamado biomagnificación, en el cual un xenobiótico va aumentando su concentración conforme avanza la cadena trófica. Un ejemplo es el reportado por Byambas *et al.* (30), donde señalan que las lombrices de tierra forman parte de la dieta natural de algunos animales de granja, como las aves de corral. Son una fuente de proteínas. Desafortunadamente, las lombrices de tierra pueden acumular algunas sustancias tóxicas presentes en el suelo y los animales que las consumen pueden contaminarse a través de ellas. Los compuestos tóxicos más comunes son metales pesados (plomo, cromo, cadmio, hierro, entre otros), pesticidas o agroquímicos (herbicidas, insecticidas, fungicidas, entre otros) y toxinas microbianas (antrácica, botulínica, colérica, entre otras).

El lombricario del Centro de Investigación y Jardín Etnobiológico

⁴⁷ El Centro de Investigación y Jardín Etnobiológico (CIJE) de la Universidad Autónoma de Coahuila (UA de C), localizado en el municipio de Viesca, Coahuila, cuenta con un lombricario (Figura 3), en el que se produce humus líquido y lombricompost a partir de la lombriz roja rayada o lombriz roja californiana. Estos productos se utilizan como abonos o fertilizantes orgánicos para las plantas que se encuentran en el jardín, que actualmente rondan los 12,000 ejemplares de aproximadamente 85 especies, repartidas en más de 12 hectáreas. La gran mayoría de las plantas con las que cuenta el jardín son nativas del semidesierto de Coahuila. Gracias al lombricario se obtienen productos que favorecen el establecimiento y crecimiento de las plantas de una manera sustentable. Además, estos productos (humus líquido y vermicompost) pueden ser comercializados,

donados o intercambiados por otros bienes con otras instituciones o jardines botánicos o etnobiológicos.

El lombricario, además, es importante en la parte de educación ambiental, ya que cuando se reciben visitas en el CIJE ya sean de grupos escolares o de turistas, se les muestra el lombricario y su funcionamiento, lo que siempre genera curiosidad e interés entre las personas, sobre todo cuando ven a las lombrices. Otro aspecto a destacar es la relevancia de este sitio para la investigación científica, ya que aún hay muchas cosas que investigar sobre las lombrices de tierra y sobre la vermicultura en general.

Metodología

El lombricario está construido con paredes de varas de ocotillo y escapos de agaves, formando una construcción bioarquitectónica, tiene techo de lámina, unas mesas de madera y sobre ellas cajas de reja donde está la tierra y las lombrices. A la tierra donde están las lombrices se le agrega materia orgánica como viruta de la poda de árboles como los mezquites o pinabetes además de estiércol seco (sirre) de cabras u otros animales domésticos como ganado ovino, bovino o equino.

También cuenta con un sistema de riego por aspersión en la parte superior, así como canales al lado de las cajas y recipientes donde se va acumulando el humus líquido. Luego este humus se coloca en botellas y el vermicompost en bolsas para su almacenamiento y posterior uso dentro del jardín.

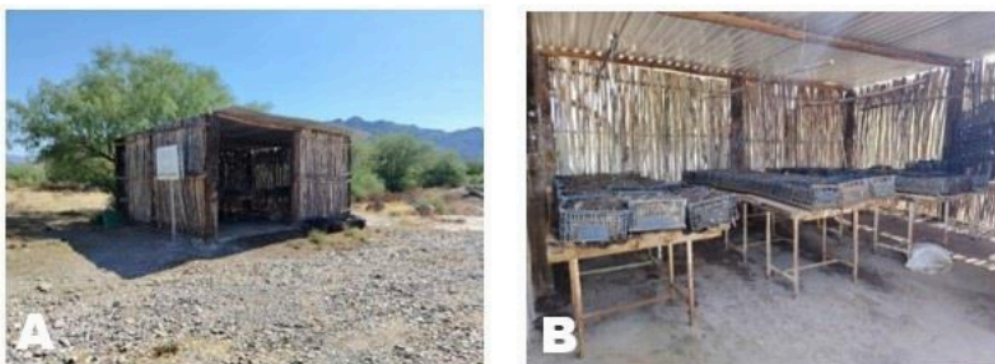


Figura 3. Lombricario del CIJE. A) Vista externa. B) Vista interna.

CONCLUSIÓN

La lombricultura o vermicultura ofrece una alternativa sustentable al extendido uso de fertilizantes sintéticos y agroquímicos que resultan nocivos para muchas especies benéficas y para la salud del ser humano. Tener un lombricario resulta de una relativamente baja inversión, no requieren supervisión permanente ni una protección especial, tampoco algún equipo o máquina sofisticada. Algunas materias primas como tierra, viruta y sirre resultan prácticamente gratuitas y requiere poca agua para su funcionamiento. Los productos obtenidos son de alto valor en el mercado y lo más importante es que es una forma de producción sustentable y que puede ser una buena alternativa para muchos productores agrícolas en zonas áridas y semiáridas.

LITERATURA CITADA

1. Huerta-Lwanga E, López-Argoytia L. 2012. Lombrices, las ingenieras de la tierra. *Editorial ECOSUR*, México.

2. Darwin C. 2011. La formación del mantillo vegetal. *Editorial Los Libros de la Catarata*. Madrid, España.
3. Cloudsley-Thompson JL. 1977. El hombre y la biología de las zonas áridas. *Editorial Oris*, Barcelona.
4. Leopold AS. 1979. El desierto. `Colección de la Naturaleza de Life en Español. *Editorial Offset Multicolor*.
5. Hernández MH. 2006. La vida en los desiertos mexicanos. Colección La Ciencia para Todos, 213, *Fondo de Cultura Económica*. Ciudad de México.
6. Granados-Sánchez D, Hernández-García MA, López-Ríos GF. 2012. Ecología de los desiertos Del mundo. *Editorial Universidad Autónoma Chapingo*, Texcoco, México
7. León-de la Luz JL, Blázquez-Moreno MC, Ortega-Rubio A. 2013. ¿Qué se mueve en el Desierto? Historias del matorral sarco caule. *Editorial Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.* La Paz, Baja California Sur, México.
8. Saygin SD. 2017. Strategies to enhance sustainability of land resources in arid regions. In: Arman H, Yuksel I, editores. Arid environments and sustainability. 1 ed. Viena. *IntechOpen*. p. 4-20.
9. Miranda F. 1955. Formas de vida vegetales y el problema de la delimitación en las zonas áridas de México. In: Mesas redondas sobre problemas de las zonas áridas de México. *Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables* México, DF. p. 87.
10. Enkerlin EC, Cano G, Garza RA, Voguel E. 1997. Ciencia ambiental y desarrollo sostenible. *International Thomson Editores*, 690 p.

11. Díaz-Coutiño R, Escárcega-Castellanos S. 2009. Desarrollo sustentable, una oportunidad para la vida. *McGraw-Hill*, México:
12. Sinha RK, Agarwal S, Chauhan K, Chandran V, Soni BK. 2010. Vermiculture technology: Reviving the dreams of Sir Charles Darwin for scientific use of earthworms in sustainable development programs. *Tech Invest.* 1: 155-172.
13. Sonko SP, Vasilenko OV, Sukhanova IP, Shchetyna MA, Hurskiy IM. 2018. Vermiculture as an important component of ecologically tolerant agricultural ecosystems. *Ukr J Ecol.* 8(4): 236-242.
14. Chávez-Porras A, Rodríguez-González A. 2011. Análisis químico y biológico de biosólidos sometidos a sistema de lombricultura como potencial abono orgánico. *Nova* 9(15): 53-59.
15. Dávila MT, Ramírez CA. 1996. Lombricultura en pulpa de café. *Avances técnicos Cenicafé* 225:1-12.
16. Coss y León MHJ, Martín del Campo MCI, Loza LJA, Durand MLC., Monteros CE, López AE. 2015. Tratamiento de sustrato de bovino y producción de biogás en un biodigestor continuo con lombricultura. *E-Gnosis.* 13:1-16.
17. Schuldt M, Christiansen R, Scatturice LA, Mayo JP. 2007. Lombricultura. Desarrollo y adaptación a diferentes condiciones de temperie. *REDVET* 8(8):1-10.
18. De Gante Cabrera VH. 2013. La lombricultura: alternativa a la disposición final de residuos domiciliarios. *Elementos* 89: 43-46
19. Carrillo-Cando LE, Basantes-Vaca CV, Quiroz-Carrión EN, Luis Alberto Mera-Cabezas LA. 2024. Potencialidades de la lombricultura, en la educación

- ambiental, para optimizar el aprendizaje de la química verde. *Polo Conoc.* 9(2):807-27.
20. Bajsa O, Nair J, K. Mathew, Ho GE. 2003. Vermiculture as a tool for domestic wastewater management. *Water Sci Tech* 48: 125-132.
 21. Morales PNB, Garavito NJZ, Chávez PA. 2010. Implementación de un proceso biotecnológico: lombricultura como tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Rev Acad Virt.* 3(1): 137-47.
 22. Sinha RK, Hahn G, Singh PK. Suhane RK, Anthonyreddy A. 2011. Organic farming by vermiculture: Producing safe, nutritive and protective foods by earthworms (Charles Darwin's friends of farmers). *Am J Exp Agric* 1(4): 363-399.
 23. Sinha RK, Soni BK, Agarwal S, Shankar B, Hahn G. 2013. Vermiculture for organic horticulture: Producing chemical-free, nutritive & health protective foods by earthworms. *Agric Sci.* 1(1): 17-44
 24. Ghosh C. 2004. Integrated vermi-pisciculture—an alternative option for recycling of solid municipal waste in rural India. *Bioresource Tech.* 93: 71–75.
 25. Hussaini A. 2013. Vermiculture bio-technology: An effective tool for economic and environmental sustainability. *Afr J Env Sci Tech.* 7(2): 56-60.
 26. Kalita RR, Das MD, Bora S. 2017. Knowledge, attitude and practices of farmers towards vermiculture technology. *Indian Res J Ext Edu.* 17 (4): 78-82.
 27. De la Lanza-Espino G, Hernández-Pulido S. 2000. Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores). *Plaza y Valdéz, S.A.* de C.V., México.

28. González-Zuarth C, Vallarino A, Pérez-Jiménez JC, Low-Pfeng AM. 2014. Bioindicadores guardianes de nuestro futuro ambiental. *Editorial ECOSUR* México.
29. Delgado-Arroyo MM, Porcel-Cots MA, Miralles De Imperial-Hornedo R, Beltrán-Rodríguez EM, Beringola-Beringola L, Martín-Sánchez JV. 2004. Efecto de la vermicultura en la descomposición de residuos orgánicos. *Rev Int Contam Amb.* 20 (2): 83-86.
30. Byambas P, Hornick JL, Marlier D, Francis F. 2019. Cogent vermiculture in animal farming: A review on the biological and nonbiological risks related to earthworms in animal feed. *EnvSci.* 5: 1-12.

TRANSFORMACIÓN AGRÍCOLA: TECNOLOGÍAS EMERGENTES

COMO CLAVE PARA LA SOSTENIBILIDAD EN 2025

AGRICULTURAL TRANSFORMATION:

EMERGING TECHNOLOGIES AS KEY TO SUSTAINABILITY IN 2025

Alan Joel Servín-Prieto^{1*}, Mónica Hernández-López², Tania Elizabeth Velásquez-Chávez¹, José María Juárez-Hernández¹, Marcial Humberto Vásquez-Corral¹, Adriana Viramontes Acosta³, Jesús Alejandro Valdés Nieblas¹

¹Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico N° 1555 Sur. Periférico Lerdo Km 14.5, Plácido Domingo, Lerdo, Durango. CP. 35150.

²Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Torreón. Carr. Torreón-San Pedro de las Colonias Km 7.5, Ejido Ana, Torreón, Coahuila. CP 27170.

³Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de la Laguna. Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón Coahuila. CP 27000.*Autor para correspondencia: alanjservin@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el papel de las tecnologías emergentes en la transformación agrícola hacia modelos más sostenibles para el año 2025. Frente a desafíos como el cambio climático, la degradación del suelo, la

escasez de agua y la creciente demanda alimentaria, se plantea la necesidad de adoptar herramientas innovadoras que permitan una producción eficiente y ambientalmente responsable. El marco teórico se fundamenta en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), destacando aquellos directamente relacionados con la agricultura: Hambre Cero (ODS 2), Agua Limpia (ODS 6), Producción Responsable (ODS 12), Acción por el Clima (ODS 13), Vida de Ecosistemas Terrestres (ODS 15) y Alianzas para Lograr los Objetivos (ODS 17). Se abordan tecnologías como la agricultura de precisión, biotecnología, inteligencia artificial, Big Data, robótica y sistemas de monitoreo satelital, mostrando su impacto positivo en la sostenibilidad y eficiencia de los sistemas agrícolas. En las conclusiones se resalta que la integración de estas tecnologías permite mejorar la productividad, optimizar el uso de insumos, monitorear los cultivos en tiempo real y reducir la huella ambiental. Dos estudios de caso aplicados al cultivo de nogal pecanero evidencian el potencial de la teledetección y del uso de lixiviado de vermicompost en el mejoramiento de las condiciones del suelo y la salud de las plantas. Finalmente, se concluye que la transición hacia una agricultura sostenible requiere de políticas públicas inclusivas, inversión en infraestructura tecnológica, educación rural y alianzas estratégicas para garantizar la seguridad alimentaria global sin comprometer los recursos del planeta.

Palabras clave: Agricultura de precisión, Biotecnología, Cambio climático, Inteligencia artificial, Sostenibilidad.

ABSTRACT

This paper aims to analyze the role of emerging technologies in transforming agriculture toward more sustainable models by the year 2025. Faced with challenges such as climate change, soil degradation, water scarcity, and increasing food demand, it highlights the need to adopt innovative tools that enable efficient and environmentally responsible production. The theoretical framework is based on the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly those directly related to agriculture: Zero Hunger (SDG 2), Clean Water (SDG 6), ³⁰ Responsible Consumption and Production (SDG 12), Climate Action (SDG 13), Life on Land (SDG 15), and Partnerships for the Goals (SDG 17). The study explores technologies such as precision agriculture, biotechnology, artificial intelligence, big data, robotics, and satellite monitoring systems, emphasizing their positive impact on the sustainability and efficiency of agricultural systems. The conclusions highlight that integrating these technologies improves productivity, optimizes input use, enables real-time crop monitoring, and reduces environmental impact. Two case studies focused on pecan tree cultivation demonstrate the effectiveness of remote sensing and the use of vermicompost leachate in improving soil quality and plant health. Finally, the study concludes that transitioning toward sustainable agriculture requires inclusive public policies, investment in technological infrastructure, rural education, and strategic partnerships to ensure global food security without compromising the planet's resources.

Keywords: Artificial intelligence, Biotechnology, Climate change, Precision agriculture, Sustainability.

Introducción

La agricultura ha sido un pilar fundamental en el desarrollo humano y en la supervivencia de las sociedades desde sus inicios. A lo largo de los siglos, las prácticas agrícolas han evolucionado considerablemente, adaptándose a las nuevas necesidades de una población mundial en constante crecimiento (1). Sin embargo, en las últimas décadas, la agricultura ha enfrentado desafíos sin precedentes debido a la aceleración del cambio climático, la degradación de los recursos naturales, la escasez de agua, y el aumento de la demanda alimentaria (2). En este contexto, surge la necesidad urgente de transformar los métodos de producción agrícola hacia modelos más sostenibles, capaces de garantizar la seguridad alimentaria para las generaciones futuras mientras se protege el medio ambiente.

El año 2025 marca un hito clave en este proceso de transformación. Si bien los desafíos son numerosos, las tecnologías emergentes ofrecen un potencial extraordinario para cambiar radicalmente la manera en que cultivamos la tierra, gestionamos los recursos y producimos alimentos. Tecnologías como la agricultura de precisión, la biotecnología, la IA, el big Data, la robótica, y la automatización se están perfilando como herramientas clave para abordar las crecientes presiones sobre los sistemas agrícolas tradicionales (3). Estas innovaciones no solo prometen aumentar la eficiencia en la producción, sino que también tienen el

potencial de reducir los impactos ambientales negativos, mejorar la gestión de los recursos y aumentar la resiliencia frente a las amenazas del cambio climático.

Una de las grandes promesas de estas tecnologías emergentes es su capacidad para hacer un uso más eficiente de los recursos naturales. La agricultura convencional, en muchos casos, ha sido una de las principales responsables de la degradación del medio ambiente. El uso excesivo de agua para riego, el uso indiscriminado de pesticidas y fertilizantes, y la deforestación son algunos de los problemas ambientales asociados con los métodos agrícolas tradicionales. En este sentido, la adopción de tecnologías avanzadas puede representar un cambio radical hacia un modelo más sostenible. Por ejemplo, los sensores de humedad en el suelo y los sistemas de riego automatizados basados en datos en tiempo real pueden reducir significativamente el consumo de agua, mientras que los drones y satélites pueden monitorear la salud de los cultivos y detectar problemas antes de que se conviertan en amenazas a gran escala.

¹³ La agricultura de precisión es una estrategia de gestión que recoge, procesa y analiza datos temporales, espaciales e individuales y los combina con otras informaciones para respaldar las decisiones de manejo de acuerdo con la variabilidad estimada, y así mejorar la eficiencia en el uso de recursos, la productividad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la producción agrícola. Esta es la definición oficial de agricultura de precisión aprobada en julio de 2019 por la *International Society of Precision Agriculture (ISPA)* (4).

En el ámbito agrícola, la biotecnología vegetal ha sido crucial para mejorar la productividad y promover prácticas agrícolas más sostenibles. Una de las principales herramientas utilizadas es la modificación genética, que ha permitido el

desarrollo de cultivos más resistentes a plagas, enfermedades y condiciones climáticas adversas, como la sequía y las temperaturas extremas. Estos cultivos no solo ayudan a garantizar la seguridad alimentaria en contextos de cambio climático, sino que también reducen la necesidad de pesticidas y otros insumos químicos, contribuyendo a una agricultura más amigable con el medio ambiente (5).

El *big data* y la IA también juegan un papel crucial en la transformación agrícola. A medida que los agricultores adoptan sistemas de monitoreo más sofisticados, pueden recopilar grandes volúmenes de datos sobre el estado del suelo, el clima, los cultivos y otros factores relevantes. Esta información, procesada y analizada mediante algoritmos avanzados, permite tomar decisiones más informadas y específicas, optimizando los rendimientos y reduciendo el uso de insumos como fertilizantes y pesticidas. Además, los modelos predictivos basados en IA pueden ayudar a anticipar condiciones climáticas extremas, lo que permitiría a los agricultores tomar medidas preventivas y adaptar sus prácticas a las variabilidades del clima. Además de ayudar en la toma de decisiones, la IA está revolucionando la mecanización agrícola. Robots inteligentes que utilizan visión por computadora e IA están siendo desarrollados para realizar tareas como la cosecha y la siembra de manera autónoma, reduciendo la necesidad de mano de obra y mejorando la eficiencia (6).

La inteligencia artificial se refiere a la creación de sistemas inteligentes capaces de realizar tareas que, por lo general, requerirían inteligencia humana, tales como el aprendizaje, la resolución de problemas y la toma de decisiones (7). Aunque se ha establecido como una herramienta esencial en el sector tecnológico,

su aplicación se ha expandido a las ciencias de la vida, incluyendo la medicina, la microbiología, la genómica y la biotecnología (8).

La agricultura enfrenta desafíos históricos y contemporáneos, como el cambio climático y el aumento de la población mundial, entre muchos otros. Estos problemas han resaltado la necesidad de encontrar enfoques tecnológicos sostenibles que puedan asegurar una producción suficiente de alimentos, con menor impacto ambiental (9). La convergencia entre la IA y la biotecnología promete transformar la agricultura, desde la mejora genética de cultivos hasta la automatización de procesos, revolucionando la forma en que se producen alimentos y se gestionan los recursos naturales para enfrentar los desafíos futuros.

Sin embargo, a pesar de los avances prometedores, la transición hacia una agricultura más sostenible mediante el uso de tecnologías emergentes no está exenta de desafíos. A nivel global, la adopción de estas tecnologías está lejos de ser homogénea. Los países en desarrollo enfrentan barreras significativas en términos de acceso a la tecnología, formación adecuada, infraestructura, y financiación. Además, el coste inicial de las nuevas tecnologías puede ser prohibitivo para pequeños productores y agricultores, lo que genera una brecha de acceso que podría profundizar las desigualdades existentes en el sector agrícola (10).

Otro desafío importante es la resistencia a los cambios, tanto en los agricultores tradicionales como en las comunidades que dependen de métodos agrícolas más convencionales. Si bien, las tecnologías emergentes ofrecen soluciones innovadoras, su implementación efectiva requiere un cambio en la

mentalidad y en la formación de los actores clave, incluyendo los propios agricultores, los gobiernos, las empresas del sector agrícola y la sociedad en general. En este sentido, es crucial que las políticas públicas no solo fomenten la innovación tecnológica, sino que también promuevan la educación y la inclusión digital en las zonas rurales, garantizando que todos los actores puedan beneficiarse de los avances tecnológicos. A medida que el hombre sigue evolucionando, la necesidad de adoptar tecnologías emergentes se vuelve aún más urgente. La combinación de estos avances tecnológicos, junto con políticas públicas adecuadas, tiene el potencial de transformar radicalmente la agricultura, haciendo que sea más eficiente, resiliente y respetuosa con el medio ambiente (11). Si se implementan correctamente, estas tecnologías pueden garantizar que la agricultura del futuro sea capaz de satisfacer las necesidades alimentarias globales sin comprometer los recursos del planeta. En este capítulo, exploraremos cómo estas tecnologías emergentes están cambiando la faz de la agricultura, sus impactos potenciales en la sostenibilidad, y los desafíos y oportunidades asociados con su adopción (12).

Marco teórico

Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los ³³Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), establecidos por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 2015 como parte de la Agenda 2030, representan un marco global para abordar los principales desafíos que enfrenta la humanidad en diversas áreas, como la erradicación de la pobreza, la protección del planeta, y el impulso de la prosperidad para todos (13). En particular, la agricultura sostenible juega un papel clave en el cumplimiento de varios de estos

objetivos, ya que está directamente vinculada a temas como la seguridad alimentaria, la gestión responsable de los recursos naturales y el cambio climático.

En este contexto, las tecnologías emergentes aplicadas a la agricultura representan una herramienta clave para impulsar el cumplimiento de los ODS. Estas innovaciones tienen el potencial de transformar profundamente el sector agrícola, promoviendo prácticas más eficientes, sostenibles y resilientes. A continuación, se presentan algunos de los ODS más relevantes que pueden verse directamente favorecidos por la incorporación de avances tecnológicos en la actividad agrícola

7 ODS 2: Hambre Cero

El Objetivo 2, que busca poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y mejorar la nutrición, es uno de los más estrechamente vinculados con la transformación agrícola. Las tecnologías emergentes pueden aumentar los rendimientos de los cultivos y mejorar la calidad de los alimentos, contribuyendo así a garantizar que más personas tengan acceso a alimentos nutritivos y suficientes (14). La agricultura de precisión, por ejemplo, permite una producción más eficiente y adaptada a las condiciones específicas de cada zona, lo que mejora la disponibilidad de alimentos y reduce las pérdidas post cosecha. Además, la biotecnología permite el desarrollo de cultivos más resistentes a plagas y enfermedades, lo que asegura una producción más estable en zonas vulnerables a condiciones adversas.

7 ODS 6: Agua Limpia y Saneamiento

El Objetivo 6 busca asegurar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. La tecnología agrícola de precisión juega un papel clave

en este ODS al permitir un uso más eficiente del agua a través de sistemas de riego inteligente que solo suministran agua cuando es necesario y en las cantidades justas (14). De esta manera, se reduce el consumo de agua y se minimizan los desperdicios, lo cual es particularmente importante en regiones áridas o con escasez de agua. La tecnología de sensores también puede ayudar a monitorear los niveles de humedad en el suelo, garantizando una gestión eficiente del recurso hídrico.

7 **ODS 12: Producción y Consumo Responsables**

El Objetivo 12 tiene como fin **garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles**. En el contexto agrícola, las tecnologías emergentes promueven prácticas agrícolas más responsables y eficientes, lo que reduce el impacto ambiental y la huella ecológica de la producción de alimentos (14). Por ejemplo, la agricultura de precisión permite una reducción en el uso de fertilizantes y pesticidas, lo que minimiza la contaminación del suelo y del agua. Además, la automatización y la robótica en el campo pueden reducir el uso de recursos, optimizar los procesos y, a su vez, minimizar los residuos generados por la actividad agrícola.

7 **ODS 13: Acción por el Clima**

El Objetivo 13 está enfocado en **adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos**. La agricultura sostenible, impulsada por tecnologías emergentes, es una de las principales estrategias para mitigar el impacto climático de la agricultura (14). El uso de sensores climáticos y la inteligencia artificial permiten a los agricultores prever condiciones meteorológicas extremas y adaptar sus prácticas agrícolas, reduciendo las pérdidas causadas por

fenómenos climáticos. Además, las tecnologías de bajo carbono, como las prácticas agrícolas regenerativas, pueden contribuir a la captura de carbono en el suelo, ayudando a mitigar el cambio climático.

7 ODS 15: Vida de Ecosistemas Terrestres

El Objetivo 15 busca proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar los bosques de manera sostenible, combatir la desertificación, detener la degradación de la tierra y frenar la pérdida de biodiversidad (14). Las tecnologías agrícolas emergentes, como los sistemas de monitoreo remoto y los sensores de salud del suelo, son cruciales para evaluar el estado de los ecosistemas y promover prácticas agrícolas que respeten la biodiversidad. Por ejemplo, el uso de cultivos resistentes a enfermedades y plagas puede disminuir la necesidad de productos químicos, lo que ayuda a preservar los ecosistemas circundantes.

ODS 17: Alianzas para Lograr los Objetivos

El Objetivo 17 subraya la importancia de ⁴⁶fortalecer los medios de implementación y revitalizar la alianza global para el desarrollo sostenible. La cooperación internacional es esencial para la transferencia de tecnologías y conocimientos en el sector agrícola, especialmente en los países en desarrollo (14). Las alianzas público-privadas son fundamentales para promover la innovación y facilitar el acceso a las tecnologías emergentes en regiones donde los recursos son limitados. Además, las organizaciones internacionales, gobiernos y empresas pueden trabajar juntos para establecer políticas que respalden la adopción de tecnologías agrícolas sostenibles a nivel global.

La Agricultura Sostenible

La agricultura sostenible es un enfoque que busca equilibrar las necesidades humanas con la preservación de los recursos naturales para las generaciones futuras (15). ⁴¹ La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) define la agricultura sostenible como aquella que "satisface las necesidades alimentarias y los productos agrícolas de la población sin comprometer la capacidad de los ecosistemas para proporcionar servicios ecológicos esenciales". Este enfoque tiene en cuenta tanto la productividad como la protección del medio ambiente, así como la justicia social y el desarrollo económico. Las tecnologías emergentes se consideran un vehículo clave para lograr estos objetivos, pues permiten una agricultura más eficiente y menos dependiente de los recursos naturales limitados.

¹ La agricultura sostenible en México se enfoca en la idea de mantener la producción agrícola a lo largo del tiempo sin agotar los recursos naturales esenciales. Aquí, se promueven prácticas que son amigables con el medio ambiente y que evitan la degradación del suelo, la contaminación del agua y la pérdida de biodiversidad. Algunos aspectos destacados de la agricultura sostenible en México incluyen (16):

- Rotación de Cultivos: Los agricultores mexicanos están adoptando la rotación de cultivos, una práctica que ayuda a mantener la fertilidad del suelo y reduce la presión sobre un solo tipo de cultivo.
- Uso Eficiente del Agua: En un país donde la escasez de agua es un problema importante, la agricultura sostenible fomenta el uso eficiente del agua a través de técnicas como la irrigación por goteo.

- La Estrategia Nacional de Suelos para una Agricultura Sostenible (ENASAS) promueve prácticas sostenibles de manejo y restauración de suelos, lo que permite aprovechar mejor este recurso e impulsar la productividad en el campo mexicano.
- Concientización de los agricultores de pequeña escala sobre los riesgos de los incendios forestales incidentales y cómo evitar los daños a los terrenos agrícolas.

En México,¹ la agricultura sostenible y sustentable son dos perspectivas complementarias que trabajan en armonía para lograr un futuro agrícola más ecológico, ambas son vitales para enfrentar los desafíos ambientales y garantizar la seguridad alimentaria a largo plazo en México. Así, ante los retos de un sector primario que demanda inclusión, día con día nos enfocamos en generar políticas, programas y acciones estratégicas que busquen preservar la vida y generar condiciones de desarrollo para la agricultura, la ganadería y la pesca, así como transitar hacia la autosuficiencia alimentaria del país.

Tecnologías Emergentes en la Agricultura

Las tecnologías emergentes en la agricultura se refieren a aquellas innovaciones que están transformando el sector mediante el uso de herramientas avanzadas que mejoran la eficiencia de la producción, la gestión de los recursos y la sostenibilidad. Estas tecnologías incluyen.

Agricultura de precisión

Esta es una disciplina que utiliza tecnologías avanzadas como sensores remotos, satélites, drones, sistemas de información geográfica (SIG) y sensores de campo

para monitorear los cultivos y el entorno (17). A través de esta tecnología, los agricultores pueden gestionar sus fincas de manera más eficiente y sostenible, ajustando variables como el riego, la aplicación de fertilizantes y pesticidas de acuerdo con las necesidades específicas de cada área de cultivo.

Biotechnología y mejoramiento genético

La biotecnología permite la modificación genética de los cultivos para mejorar su resistencia a plagas, enfermedades, y condiciones adversas como la sequía. El mejoramiento genético de plantas también puede resultar en cultivos que requieran menos insumos, como agua o fertilizantes, lo que contribuye a una agricultura más sostenible. Los cultivos genéticamente modificados (GMOs) son un claro ejemplo de cómo la biotecnología puede mejorar la productividad agrícola sin comprometer el medio ambiente (18).

Inteligencia Artificial (IA) y Big Data

La inteligencia artificial se utiliza para analizar grandes volúmenes de datos ⁴⁰ en tiempo real, lo que permite a los agricultores tomar decisiones informadas sobre la gestión de sus cultivos. A través de algoritmos de aprendizaje automático, la IA puede predecir el comportamiento de los cultivos, optimizar el uso de los recursos y detectar enfermedades antes de que se propaguen. Además, *el big data* y el análisis predictivo proporciona información crítica sobre el clima, los rendimientos, y otros factores que afectan la producción agrícola (19).

Robótica y automatización

Los avances en robótica y automatización están permitiendo el desarrollo de máquinas que pueden realizar tareas agrícolas de manera autónoma, como la siembra, la cosecha y el monitoreo de cultivos (19). Estas tecnologías no solo

incrementan la eficiencia, sino que también permiten reducir el uso de mano de obra y minimizar los errores humanos, lo que a su vez mejora la productividad y reduce costos.

²²

El objetivo de la robótica agrícola es ayudar al sector en su eficiencia y en la rentabilidad de los procesos. Es decir, la robótica móvil trabaja en el sector agrícola para mejorar la productividad, la especialización y la sostenibilidad medioambiental (20).

Sostenibilidad y Cambio Climático en la Agricultura

La sostenibilidad en la agricultura no puede desvincularse del cambio climático.

⁶

Los efectos del cambio climático, como las sequías prolongadas, las inundaciones, el aumento de las temperaturas y la variabilidad climática son algunos de los mayores desafíos para la agricultura mundial. ³⁴

Según el Informe Especial sobre el Calentamiento Global de 1.5 °C del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), se espera que las altas temperaturas y los fenómenos meteorológicos extremos afecten la producción de alimentos, sobre todo en regiones vulnerables. ¹⁰ El cambio climático crea una serie de problemas en la agricultura que los propietarios de las explotaciones deben abordar. Conseguir una estrategia sólida de adaptación de la agricultura al cambio climático es clave para tener éxito en este desafío. Hay que tener en cuenta que las medidas de adaptación al cambio climático en la agricultura ni son infalibles de por vida ni son las mismas para todos los casos, tienen que adaptarse a cada caso particular, teniendo en cuenta variables como las condiciones climáticas cambiantes o las necesidades agrícolas de los cultivos que se van a plantar (18).

La agricultura sostenible busca mitigar estos efectos mediante la adopción de prácticas que reduzcan la emisión de gases de efecto invernadero, promuevan la adaptación al cambio climático y fomenten el uso racional de los recursos naturales. Las tecnologías emergentes contribuyen de manera significativa a este objetivo. Por ejemplo, la agricultura de precisión permite a los agricultores utilizar los recursos de manera más eficiente, reduciendo la necesidad de fertilizantes químicos y pesticidas, lo que disminuye la huella de carbono de la agricultura.

El Rol de las Políticas Públicas en la Adopción de Tecnologías

La implementación de tecnologías emergentes en la agricultura no solo depende de los avances tecnológicos, sino también de las políticas públicas que fomenten su adopción y el desarrollo de infraestructuras adecuadas. Las políticas deben abordar la brecha de acceso a la tecnología, especialmente en los países en desarrollo, donde los pequeños productores enfrentan barreras económicas y de formación. De acuerdo con la FAO, es esencial que las políticas promuevan la inclusión digital y el acceso a la educación tecnológica en las zonas rurales para garantizar que los agricultores puedan aprovechar estas innovaciones (20).

Los gobiernos pueden desempeñar un papel fundamental mediante incentivos fiscales, subsidios y programas de capacitación. Además, las políticas deben estar orientadas a crear un entorno favorable para la inversión en investigación y desarrollo (I+D) en el sector agrícola, lo que permitirá a los países mantenerse a la vanguardia de la innovación tecnológica y adoptar soluciones sostenibles (21).

Desafíos y Oportunidades de la Transformación Agrícola

La adopción de tecnologías emergentes en la agricultura enfrenta varios desafíos.

Entre los más significativos se encuentran (22):

- El costo inicial de la implementación de nuevas tecnologías, que puede ser limitante para pequeños productores.
- La falta de infraestructura tecnológica adecuada en regiones rurales, que limita el acceso a la tecnología.
- La resistencia al cambio por parte de los agricultores tradicionales que, debido a la falta de conocimiento o la inseguridad sobre los beneficios, pueden ser reacios a adoptar nuevas prácticas.

Sin embargo, estos desafíos también abren un espacio para las oportunidades. Las innovaciones colaborativas y las alianzas público-privadas pueden generar soluciones accesibles para los agricultores, permitiendo un modelo de agricultura sostenible que esté al alcance de todos. Además, la digitalización del sector agrícola y el fomento de la educación tecnológica pueden facilitar la adopción de tecnologías emergentes en diversas regiones (22).

La Visión 2025 y Más Allá

El año 2025 se presenta como una fecha clave para evaluar el progreso hacia una agricultura más sostenible y tecnológica. Se espera que para ese entonces las tecnologías emergentes hayan alcanzado un nivel de madurez tal que la mayoría de los productores agrícolas puedan integrarlas en sus procesos productivos, ayudando a hacer frente a los desafíos globales de sostenibilidad y seguridad alimentaria (23).

Caso de Estudio 1: Monitoreo del estado nutrimental del Nogal Pecanero mediante sensores remotos

Introducción

El nogal pecanero (*Carya illinoensis* Koch.) es una de las especies frutales más importantes en la Comarca Lagunera y en otras regiones de México, debido a su alto valor comercial y su creciente demanda en los mercados nacionales e internacionales (Figura 1). Sin embargo, el éxito de su producción depende en gran medida de su manejo agronómico, incluyendo la fertilización y el monitoreo de su estado nutrimental.



Figura 1. Plantío de Nogal Pecanero
Fuente propia

En los últimos años, el uso de tecnologías de monitoreo remoto ha revolucionado la agricultura de precisión, permitiendo evaluar la condición de los cultivos sin necesidad de inspecciones manuales constantes. En este contexto, el presente estudio se enfocó en la utilización de imágenes satelitales Sentinel-2 y herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para estimar el estado nutrimental del nogal pecanero y mejorar su gestión productiva de manera eficiente y sostenible.

Objetivo del Estudio

Estimar el estado nutrimental del nogal pecanero mediante el uso de sensores remotos.

Metodología

El diagrama de flujo (ver Figura 2), describe el proceso metodológico seguido para la recolección, procesamiento y análisis de datos en un estudio agrícola. El esquema integra dos fuentes principales de información: datos obtenidos en campo mediante muestreo directo, y datos derivados de imágenes satelitales. Ambos conjuntos de datos convergen en una base común que permite realizar un análisis estadístico integral, orientado a evaluar la relación entre variables biofísicas y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

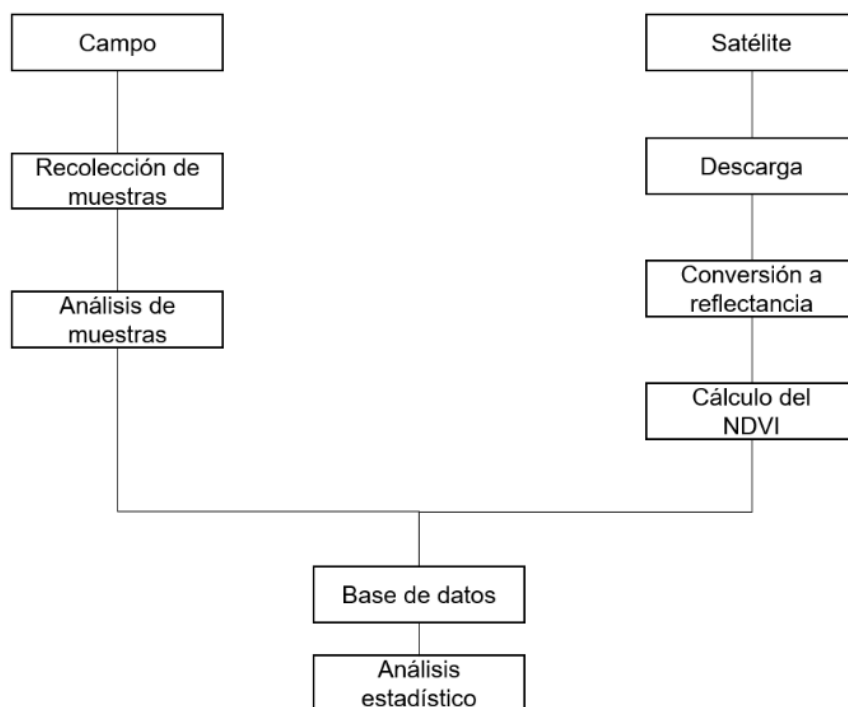


Figura 2. Proceso metodológico de la investigación.

Área de Estudio

El estudio se llevó a cabo en la Pequeña Propiedad Santo Niño, una zona con una importante superficie destinada al cultivo de nogal pecanero. Esta región se caracteriza por su clima semiárido y suelos franco-arcillosos, condiciones que influyen en el crecimiento y producción del nogal y se ubica en el municipio de San Pedro, Coahuila, en las coordenadas 709489.57 m E 2844554.58 m N zona UTM 13 datum WGS84 (Figura 3).

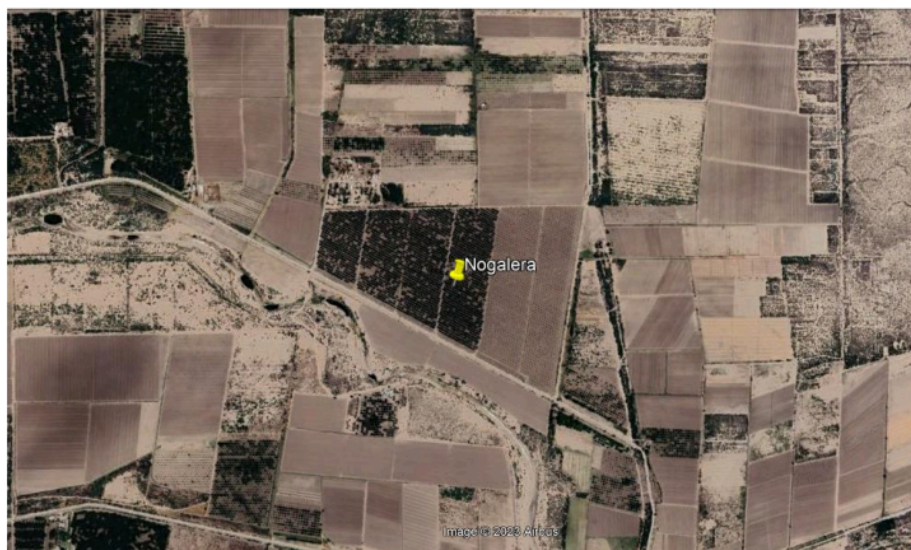


Figura 3. Localización del área de estudio.

Fuente propia

Se utilizaron arboles de 30 años de edad de la variedad "Wichita y Western Schley". La huerta esta plantada en un sistema de marco real a 10 por 10 m, con una densidad de 100 árboles por hectárea.

Tratamientos

Las dosis fueron 300 L ha⁻¹ en el riego de aniego, 200 L ha⁻¹ en el primer riego de auxilio, 100 L ha⁻¹ en el segundo y tercer riego de auxilio. Se utilizó un diseño aleatorio, siendo un árbol una unidad experimental. En el sitio se implementaron cinco tratamientos, correspondientes a diferentes periodos de aplicación continua de un mismo insumo en dosis constantes cada año. Estos tratamientos fueron los siguientes: T1, con un año de aplicación; T2, con dos años de aplicación; T3, con seis años de aplicación; T4, con siete años de aplicación (Figura 4).



Figura 4. Distribución de los tratamientos aplicados.

Fuente propia

Recolección de Datos

Se realizó un muestreo en campo para recolectar datos de las plantas en distintas etapas de su ciclo fenológico. Se tomaron muestras de hoja y suelo, pero para este estudio solo se consideraron las muestras de planta para determinar su contenido de nitrógeno (Figura 5).



Figura 5. Muestreo en el sitio de estudio.

Fuente propia

3

Los muestreos se realizaron en los cuatro puntos cardinales de la parte media del árbol y se tomó el tercer par de folíolos de los brotes seleccionados; para cada muestra se tomarán alrededor de 80 folíolos por árbol.

Preparación de la muestra

Las muestras recolectadas fueron analizadas en el Laboratorio del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Las hojas se lavaron primero con agua corriente y luego con agua des ionizada. Posteriormente, se dejaron secar a temperatura ambiente y, una vez secas, se introdujeron en una estufa de circulación de aire forzado a 60 °C hasta alcanzar peso constante. Finalmente, se molieron utilizando un tamiz de malla.

Análisis de Laboratorio

Las muestras de planta fueron analizadas para determinar (Figura 6):

1. Nitrógeno total mediante el método Kjeldahl (Cuadro 1).

2. Materia orgánica mediante el método de cenizas (Cuadro 2).



Figura 6. Análisis de muestras en el Laboratorio del ITS Lerdo

Cuadro1. Resultados Nitrógeno.

Muestra	mL gastados de H ₂ SO ₄	Nitrógeno (%)
T1R1	3.5	2.17
T1R2	3.3	2.03
T1R3	2.5	1.47
T1R4	3.9	2.45
T1R5	3.5	2.17
T2R1	3.4	2.10
T2R2	3.8	2.38
T2R3	2.0	1.12
T2R4	3.5	2.17
T2R5	3.2	1.96
T3R1	3.2	1.96
T3R2		
T3R3	3.3	2.03
T3R4		
T3R5	3.1	1.89
T4R1	2.7	1.61
T4R2	2.7	1.61
T4R3	2.5	1.47
T4R4	3.4	2.10
T4R5	3.9	2.45

Cuadro2. Resultados materia orgánica.

Muestra	PCV	PCM	MO (%)
T1R1	40.897	40.964	13.4
T1R2	37.858	37.913	11.0
T1R3	36.936	36.986	10.0
T1R4	39.853	39.908	11.0
T1R5	26.880	26.955	15.0
T2R1	30.512	30.580	13.6
T2R2	28.840	28.905	13.0
T2R3	25.064	25.155	18.2
T2R4	42.025	42.096	14.2
T2R5	44.762	44.848	17.2
T3R1	39.932	40.006	14.8
T3R2	37.377	37.490	22.6
T3R3	39.560	39.625	13.0
T3R4	39.115	39.190	15.0
T3R5	37.543	37.611	13.6
T4R1	63.005	63.063	11.6
T4R2	26.626	26.688	12.4
T4R3	26.201	26.263	10.6
T4R4	41.716	41.772	11.2
T4R5	46.504	46.567	12.6

Procesamiento de Imágenes Satelitales

Se emplearon imágenes del satélite Sentinel-2 correspondientes a los meses de abril y julio. Estas imágenes fueron procesadas en el software QGIS para obtener el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), un índice espectral que permite estimar la cantidad de clorofila en la planta y, por lo tanto, su estado nutrimental.

Análisis Estadístico

Los datos obtenidos en las imágenes satelitales se compararon con los resultados del análisis de laboratorio utilizando el software STATGRAPHICS®. Se realizó un análisis de correlación lineal entre los valores de Índice de Vegetación de

Diferencia Normalizada (NDVI) y los niveles de nitrógeno, además de un ANOVA para determinar la significancia estadística de los resultados (Figura 7).

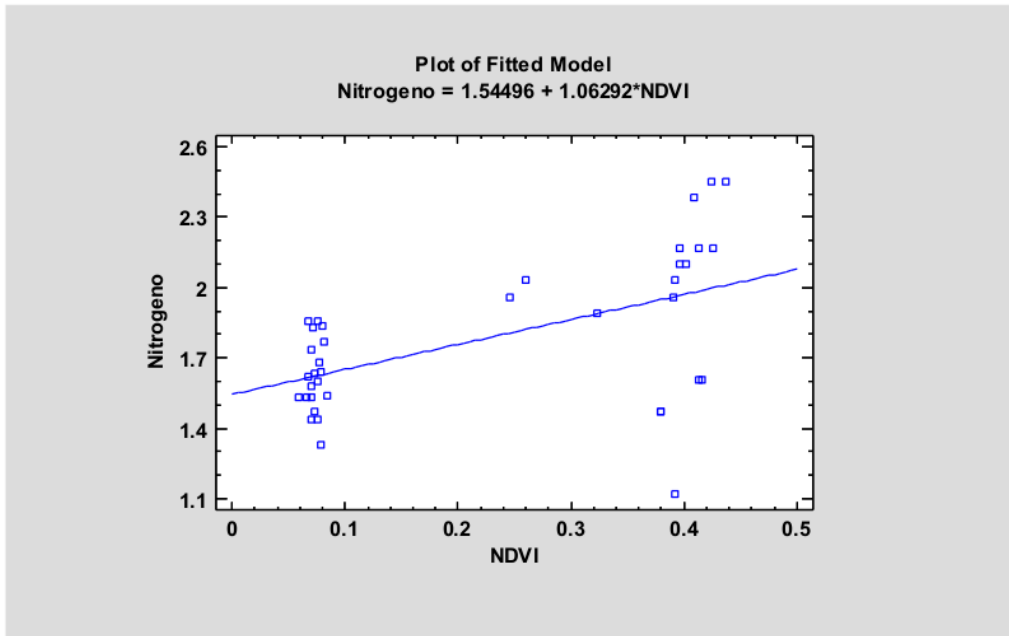


Figura 7. Correlación lineal entre valores NDVI y niveles de nitrógeno

Resultados

45 Se llevó a cabo un análisis de regresión lineal simple con el propósito de evaluar la relación entre el contenido de nitrógeno en las hojas del nogal pecanero y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), obtenido a partir de imágenes satelitales. El modelo ajustado se expresó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Nitrógeno (\%)} = 1.54496 + 1.06292 \cdot \text{NDVI}$$

Este modelo indica que, por cada unidad de incremento en el NDVI, el contenido de nitrógeno en la planta aumenta en promedio 1.06292 unidades, lo cual sugiere una relación directa entre el vigor vegetal y la disponibilidad de este nutriente esencial.

Desde el punto de vista estadístico, el modelo resultó altamente significativo, con un valor de $p = 0.0005$, claramente inferior al umbral convencional de 0.05, lo que permite afirmar, con un 95 % de confianza, que existe una asociación estadísticamente significativa entre ambas variables.

El coeficiente de determinación (R^2) fue del 28.9 %, lo cual indica que el NDVI explica aproximadamente un 29 % de la variabilidad en los valores de nitrógeno observados. Aunque esta proporción no es elevada, sí representa una tendencia relevante y científicamente respaldada. El coeficiente de correlación obtenido fue de 0.5375, lo cual sugiere una relación positiva de intensidad moderada entre las variables, confirmando la validez del modelo como herramienta exploratoria en estudios agrícolas.

El error estándar de estimación fue de 0.272, lo que refleja una dispersión moderada entre los valores observados y los valores predichos por el modelo. Asimismo, el error absoluto medio (MAE) se calculó en 0.1987, indicando que, en promedio, las predicciones del modelo difieren menos de un 0.2 % respecto a los valores reales de nitrógeno, lo cual denota una aceptable precisión predictiva.

Por último, la prueba de Durbin-Watson arrojó un valor de 2.178 con un $p = 0.6534$, lo que sugiere la inexistencia de auto correlación significativa en los residuos. En otras palabras, los errores se distribuyen de forma aleatoria, cumpliendo con los supuestos fundamentales del modelo de regresión lineal.

Implicaciones y Aplicaciones

El uso de sensores remotos y sistemas de información geográfica (SIG) en el monitoreo agrícola se posiciona como una estrategia innovadora y eficaz dentro de la agricultura de precisión. Este enfoque permite evaluar el estado nutricional

de los cultivos de manera no invasiva, rápida y a gran escala. Los resultados del presente estudio ofrecen múltiples aplicaciones prácticas, entre las que destacan:

La optimización en el uso de fertilizantes, al identificar con mayor exactitud las necesidades nutricionales del cultivo, lo que permite reducir los costos de producción y minimizar los impactos ambientales derivados del uso excesivo de insumos. Además, la teledetección facilita la detección temprana de deficiencias nutrimentales, lo que posibilita una intervención oportuna con medidas correctivas adecuadas.

Otro beneficio clave es el incremento en la eficiencia del manejo agronómico, al proporcionar información detallada y en tiempo real sobre el estado fisiológico del cultivo, reduciendo la necesidad de inspecciones manuales frecuentes. Esto cobra especial relevancia en explotaciones de gran escala, donde el monitoreo tradicional resulta costoso o inviable.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, esta tecnología ⁶ contribuye al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 2 (Hambre Cero) y el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables), al fomentar prácticas agrícolas más eficientes, racionales y ambientalmente responsables.

CONCLUSIONES

Este estudio demostró que la integración de herramientas de teledetección y SIG en el manejo agronómico del nogal pecanero constituye una alternativa técnicamente viable y científicamente válida para estimar su estado nutrimental. La correlación positiva encontrada entre el NDVI y el contenido de nitrógeno en la planta sugiere que las imágenes satelitales pueden complementar, e incluso en

ciertas condiciones sustituir parcialmente, los métodos convencionales de diagnóstico nutrimental.

Estos hallazgos resultan particularmente valiosos para los productores, técnicos e investigadores del sector agrícola, al proporcionar una herramienta adicional para la planificación y toma de decisiones en el manejo del cultivo. Al mismo tiempo, promueven la implementación de prácticas más eficientes y sustentables, contribuyendo a una agricultura moderna, tecnificada y ambientalmente responsable.

En suma, el uso de imágenes satelitales para el monitoreo del estado nutricional del nogal pecanero representa una contribución relevante al desarrollo de la agricultura de precisión en regiones como la Comarca Lagunera, y puede ser replicado en otros sistemas agrícolas con características agroclimáticas similares.

Caso de Estudio 2: Aplicación de lixiviado de vermicompost y su aporte nutrimental al suelo y cultivo de nogal pecanero

Introducción

⁶ El nogal pecanero (*Carya illinoensis* Koch.) es una especie hortofrutícola de alta rentabilidad para los estados productores del norte de México. Sin embargo, este cultivo tiene varias limitantes, entre las que ⁶ se encuentran las deficiencias y desbalances nutrimentales derivados de las características edáficas y climáticas de las regiones productivas de la región Lagunera. Debido a esto se está optando por el uso de distintos abonos orgánicos como fuente de nutrimentos para proporcionar al suelo las características adecuadas para el correcto desarrollo del nogal.

³² El uso de lixiviado de vermicompost, generada a partir de diversos residuos orgánicos, se ha incrementado en diferentes regiones del mundo como abono de alta calidad. Donde el producto aplicado al suelo favorece e incrementa la actividad biótica y su acción aumentando la resistencia de plantas frente a plagas y organismos patógenos. El presente trabajo tiene como finalidad evaluar el aporte nutrimental tanto en suelo como en planta del lixiviado de vermicompost durante varios años de aplicación al nogal pecanero.

Objetivo del Estudio

Aplicar lixiviado de vermicompost y evaluar el aporte nutrimental al suelo y al cultivo de nogal pecanero, mediante muestras y análisis en laboratorio.

Metodología

El diagrama (Figura 8), constituye un enfoque sistemático y secuencial que abarca todas las etapas necesarias para garantizar una evaluación rigurosa y reproducible de los tratamientos experimentales. El proceso inicia con la preparación y estabilización de los residuos orgánicos mediante un pre-compostaje, seguido por la producción controlada de vermicompost, de donde se obtiene el lixiviado a utilizar. Posteriormente, se establece un diseño experimental con criterios científicos que permiten la aplicación diferenciada de tratamientos, asegurando la validez estadística de los resultados. A lo largo del experimento, se realiza un monitoreo detallado tanto del suelo como de las plantas, mediante muestreos específicos que permiten analizar los cambios físicos, químicos y biológicos inducidos por el lixiviado. Finalmente, los datos recolectados son sometidos a análisis estadísticos que permiten identificar diferencias significativas entre tratamientos, establecer correlaciones entre variables, y generar conclusiones sólidas sobre la efectividad del lixiviado como insumo agrícola. En conjunto, esta metodología permite una evaluación integral, desde el manejo inicial del insumo orgánico hasta la interpretación cuantitativa de los efectos obtenidos en campo.

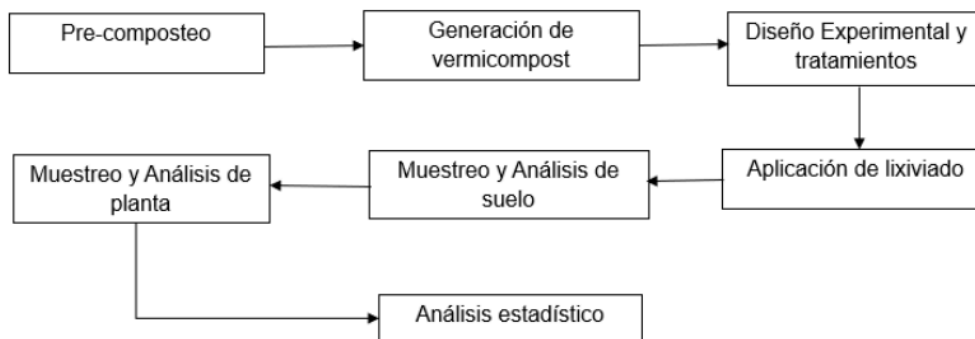


Figura 8. Proceso metodológico de la investigación

Área de Estudio

El estudio se llevó a cabo en la Nogalera de la Pequeña Propiedad Santo Niño (Figura 9) ubicada en San Pedro de las Colonias, Coahuila, con coordenadas geográficas 709489.57 m E, 2844554.58 m N.

Se utilizaron árboles de 30 años de la variedad “Wichita” y “Western Schley”.³ La huerta esta plantada en un sistema de marco real a 14x14 m, con una densidad de 51 árboles por hectárea. El riego de la huerta es por gravedad, aplicada desde el 1 de marzo hasta el 30 de julio.

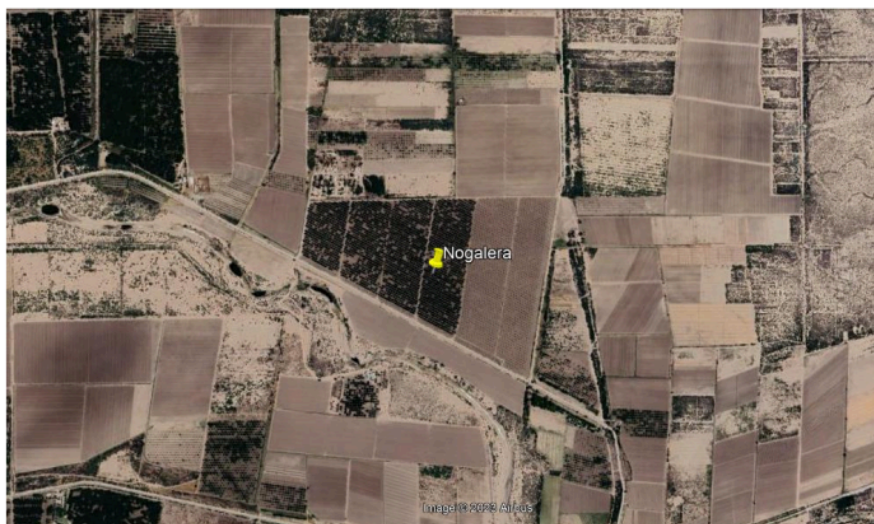


Figura 9. Área de Estudio P.P. Santo Niño

Fuente propia

Pre-compostaje

Se utilizó estiércol de bovino como alimento base para las lombrices, realizando un pre-compostaje para adecuar las características físicas tales como pH, temperatura, humedad, ideales para la obtención y el desarrollo de vermicompost y lixiviado. El cuál se aplicó como tratamiento para satisfacer las necesidades nutrimentales de los nogales.

Tratamientos

Las dosis fueron $300 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$ en el riego de aniego, $200 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$ en el primer riego de auxilio, $100 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$ en el segundo y tercer riego de auxilio. Se utilizó un diseño aleatorio, siendo un árbol una unidad experimental. Se consideraron en cuenta cinco tratamientos los cuales fueron los años de aplicación donde se añadieron las mismas dosis cada año, siendo estos: T1: un año de aplicación, T2: dos años de aplicación, T3: seis años de aplicación, T4: siete años de aplicación y T5: testigo.

Muestreo y análisis de suelo

Se obtuvieron muestras de suelo de 0 a 30 cm de profundidad de la parte media de la parcela, posteriormente se secaron a temperatura ambiente para poder realizar los análisis correspondientes. Se realizaron cinco repeticiones por tratamiento donde se analizaron las siguientes determinaciones: Nitrógeno, por el método Kjeldahl; porcentaje de materia orgánica, por el método Walkley Black; pH, por el método del potenciómetro; conductividad eléctrica, por el método del conductímetro; densidad real, por el método del picnómetro; y textura del suelo, por el método Bouyocous.

Muestreo y análisis de planta

Se realizó un muestreo foliar en el mes de julio cuando terminó la etapa de floración, para evaluar el efecto de los ³tratamientos. Los muestreos se realizaron en los cuatro puntos cardinales de la parte media del árbol y se tomó el tercer par de folíolos de los brotes seleccionados; para cada muestra se tomaron alrededor de 80 folíolos por árbol.

Las hojas ³se lavaron con agua corriente, después con agua desionizada, dejándolas secar a temperatura ambiente, posteriormente fueron introducidas a una estufa de circulación forzada de aire a 60°C hasta seco constante y se molieron.

Para la planta se realizaron cinco repeticiones por tratamientos. Las determinaciones en planta fueron las siguientes: Nitrógeno, por el método Kjeldahl; y porcentaje de materia orgánica (MO), por el método de calcinación.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza utilizando el software STATSGRAPHICS® para determinar diferencias significativas entre tratamientos, mediante la prueba de la diferencia mínima significativa de Tukey con un nivel de significancia de 5 %.

Resultados y Discusión

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los análisis de suelo y planta donde se aplicó lixiviado de vermicompost.

Suelo

Nitrógeno. De acuerdo al análisis estadístico se encontró que existe una diferencia significativa en la concentración de nitrógeno en el suelo dando un $p < 0.05$, donde se puede observar en la Cuadro 1 que el T3 y T4 son los que obtuvieron una mayor concentración de nitrógeno con 0.17 y 0.15 % respectivamente, el T5 que es el testigo, presentó la concentración más baja lo que demuestra que la aplicación de lixiviado de vermicompost sí va incrementando la concentración de nitrógeno en el suelo conforme los años de aplicación.

Materia orgánica. Este parámetro presentó una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos. El testigo presenta el menor porcentaje de contenido de materia orgánica. Este porcentaje va en aumento conforme aumentan los años de aplicación de lixiviado de vermicompost al suelo, observándose los niveles más altos en los T3 y T4 con 2.46 y 2.15 %, respectivamente.

pH. El pH óptimo para el nogal, según informa SAGARPA, abarca el rango de 6.5 a 7.5, es decir, un pH ligeramente ácido a uno neutro o ligeramente alcalino. Se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en los valores de pH entre los

distintos tratamientos con respecto al testigo como se observan en la Cuadro 1. Los tratamientos T1, T2 y T5, son suelos fuertemente alcalinos. Esta característica es normal en los suelos calcáreos, propios de la Región Lagunera, sin embargo, no es adecuado este nivel para el desarrollo óptimo de los cultivos de nogal.

Los tratamientos T3 y T4 con valores de pH de 8.33 y 8.47 respectivamente, lograron disminuir el valor inicial del testigo, ver Cuadro 1. Estos valores se clasifican como medianamente alcalinos, sin embargo, no cumple con el pH óptimo para el cultivo.

Conductividad eléctrica. El valor más alto presentando en las muestras de suelo corresponde al T2 con $61.6993 \mu S \bullet m^{-1}$, a pesar de ser el valor más elevado dentro de los cinco tratamientos, está muy por debajo del límite máximo que es $2.00 dS \bullet m^{-1}$, cumpliendo con el requisito. Adoptando la característica de suelos no salinos.

Densidad real. No hubo diferencia significativa en el valor de densidad real del suelo de los cinco tratamientos. La densidad más alta la presentó el T5 con $2.31 g \bullet cm^{-3}$, lo que nos indica que el testigo es el tratamiento con menor contenido de materia orgánica. El menor valor de densidad real se obtuvo con el T3, con seis años de aplicación de lixiviado, con $2.11 g/cm^3$, siendo un resultado esperado puesto que corresponde al tratamiento que presenta el mayor porcentaje de contenido de materia orgánica en el suelo, confirmando que la aplicación de lixiviado de vermicompost contribuye a aumentar la riqueza del suelo.

Clase textural. De acuerdo con los análisis, el suelo de nogal pecanero se dividió en tres tipos de suelo: arenoso franco, franco arenoso y franco arcillo arenoso.

El suelo del T5 tiene textura arenoso franco, por lo que tiene mayor porcentaje de arena que los demás tratamientos, provocando problemas de retención de nutrientes y agua. El T1 tiene un suelo franco arenoso, bajó su porcentaje de arena y aumento en composición de limo y arcilla. Los siguientes tratamientos; 2, 3 y 4, pertenecen a la clase textural franco arcillo arenosa, siendo estas las más aptas para el crecimiento del nogal como se observa en la Cuadro 1.

Cuadro3. Características fisicoquímicas del Suelo.

T	N (%)	MO	pH	CE ($\mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$)	Dr ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	Clase textural
T1	0.063 b	0.897 b	8.6	19.45	2.23	Franco arenoso franco
T2	0.082 b	1.166 b	8.6	61.70	2.16	Arcillo arenoso
T3	0.173 a	2.466 a	8.3	40.32	2.11	Franco arcillo arenoso
T4	0.151 a	2.152 a	8.5	12.74	2.17	Franco arcillo arenoso
T5	0.019 c	0.269 c	9.0	0.34	2.31	Arenoso franco

T = Tratamiento; T1= un año de aplicación de lixiviado; T2 = dos años de aplicación; T3 = seis años de aplicación; T4 = siete años de aplicación; T5 = testigo. Columnas con distintas letras son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Planta

Nitrógeno. De acuerdo con el análisis estadístico no se encontró diferencia significativa en el porcentaje de nitrógeno en planta a pesar de los años de aplicación de lixiviado al nogal, sin embargo, el T1 correspondiente a un año de aplicación, arroja el mayor porcentaje de N en planta con un 2.42 %. Por otra parte, el T3, de seis años de aplicación, es el que menos porcentaje de nitrógeno contiene, con un 1.526 %. De los cuatro tratamientos analizados, el T1, T2 y T4

pertenecen a un nivel nutricional bajo o idóneo, el T3 fue el tratamiento con un nivel más deficiente al estar por debajo del requerimiento mínimo.

Materia orgánica. Se encontró diferencia significativa en el porcentaje de materia orgánica a nivel foliar entre los distintos tratamientos ver Cuadro 2. Al igual que con el nitrógeno, el T1 con un año de aplicación de vermicompost tuvo el porcentaje más elevado, con 15.8 %, que se puede atribuir a un aumento rápido y elevado en la concentración de nutrientes en el suelo desde que se inició la aplicación de lixiviado.

Cuadro4. Contenido de Nitrógeno y Materia Orgánica en Nogal.

Tratamiento	N (%)	MO (%)
T1	2.42667	15.8 a
T2	2.128	11.68 c
T3	1.526	15.24 ab
T4	2.058	12.08 bc

T1 = un año de aplicación de lixiviado; T2 = dos años de aplicación; T3 = seis años de aplicación; T4 = siete años de aplicación. Columnas con distintas letras son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

CONCLUSIONES

Los dos casos de estudio presentados en este trabajo evidencian el potencial transformador de integrar tecnologías sustentables, biotecnológicas y de percepción remota en la agricultura moderna, particularmente en el cultivo de nogal pecanero. Esta integración ha permitido avanzar hacia una gestión agronómica más eficiente, sostenible y basada en evidencia, con énfasis en la mejora de la calidad del suelo y la nutrición vegetal.

En ambos estudios se utilizó el vermicompost como una biotecnología base. Esta técnica emplea lombrices para transformar estiércol bovino en un lixiviado líquido altamente nutritivo. El proceso incluyó etapas tecnológicas esenciales como el pre-compostaje del estiércol, el manejo controlado del sistema de lombricultura y la aplicación del lixiviado mediante riego por gravedad. Esta metodología favoreció la incorporación eficiente del bioinsumo en las parcelas experimentales.

Una innovación destacada fue el uso de imágenes satelitales del programa Sentinel-2 para el monitoreo de la salud vegetal. Mediante el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), se logró identificar variaciones en el vigor del cultivo, asociadas a la aplicación del lixiviado. Valores elevados de NDVI reflejaron una vegetación más densa y saludable, mientras que valores bajos indicaron condiciones de estrés o deficiencias nutrimentales. Esta herramienta de teledetección permitió evaluar la respuesta del cultivo a escala espacial, facilitando la toma de decisiones informadas y reduciendo la dependencia de muestreos manuales.

De manera complementaria, ambos estudios incorporaron análisis fisicoquímicos de suelo y foliares en laboratorio. Las variables evaluadas incluyeron nitrógeno, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, densidad real y textura del suelo. Estos datos, sometidos a análisis estadístico, permitieron confirmar diferencias significativas entre tratamientos, estableciendo una relación directa entre la aplicación del lixiviado y la mejora de las condiciones edáficas.

Los resultados obtenidos reflejan un impacto positivo de las tecnologías aplicadas sobre la sustentabilidad agrícola. En el suelo, el lixiviado favoreció el

incremento de la materia orgánica y la reducción de la densidad real, contribuyendo a mejorar su estructura y fertilidad. A nivel de planta, aunque no se detectaron diferencias significativas en el contenido de nitrógeno en todos los tratamientos, sí se observaron respuestas fisiológicas positivas en etapas tempranas de aplicación. Asimismo, el uso de monitoreo remoto resultó clave para gestionar eficientemente grandes extensiones agrícolas, permitiendo observar en tiempo real la respuesta del cultivo a los tratamientos, reducir el uso de insumos químicos y optimizar el manejo integral del sistema productivo.

La combinación de biotecnología, análisis químico y herramientas de teledetección constituye una estrategia integral que promueve la sostenibilidad, incrementa la eficiencia productiva y reduce los impactos ambientales. Esta sinergia tecnológica representa un modelo viable para su adopción en otros cultivos y regiones, siempre que se cuente con políticas públicas adecuadas, inversión en infraestructura y capacitación técnica en el medio rural.

LITERATURA CITADA

1. Arias F, Ribes-Giner G. 2019. Evolución del papel del emprendedor rural: del agricultor subordinado del siglo XVIII al empresario rural actual. *Revista Venezolana de Gerencia*; 24: 1005-2018. Disponible en: <https://doi.org/10.37960/revista.v24i88.30161>
2. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO). 2025. *Sustainable Agricultural Practices* Disponible en: <https://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/spi/soil->

biodiversity/agriculture-and-soil-biodiversity/sustainable-agricultural-practices/en/

3. Herrera Cardoso ED, León Galván MF, Sosa Morales ME, Ruiz Nieto JE, Cepeda Negrete J. 2024. Inteligencia artificial y biotecnología: hacia una agricultura sostenible y eficiente. JC; 32:1-5. Disponible en: <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4687>
4. Robotnik. 2024. Aplicaciones de la robótica en la agricultura. Disponible en: <https://robotnik.eu/es/aplicaciones-de-la-robotica-en-la-agricultura/>
5. Ranjha MMAN, Shafique B, Khalid W, Nadeem HR, Mueen-Ud-Din G, Khalid MZ. 2022. Applications of biotechnology in food and agriculture: Amini-review. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B Biological Sciences*. 92(1): 11-5. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40011-021-01320-4>
6. Bai Y, Zhang B, Xu N, Zhou J, Shi J, Diao Z. 2022. Vision-based navigation and guidance for agricultural autonomous vehicles and robots: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*. Nanjing, Jiangsu. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107584>
7. Holzinger A, Keiblinger K, Holub P, Zatloukal K, Müller H. 2023. AI for life: Trends in artificial intelligence for biotechnology. *New Biotechnology*. 74:16-24; Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2023.02.001>
8. Leite ML, De Loiola Costa LS, Cunha VA, Kreniski V, De Oliveira Braga Filho M, Da Cunha NB, et al. 2021. Artificial intelligence and the future of life sciences.

- Drug Discovery Today* 26(11): 2515-26. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2021.07.002>
9. Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R, Polasky S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*; 418(6898): 671-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/nature01014>
10. The state of food and agriculture 2022 *FAO*; 2022. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4060/cb9479en>
11. World Bank. . 2025. Disponible en: <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/218161615982157138/digital-agriculture-the-future-of-farming-in-a-digital-world>
12. Farmonaut. 2025. Transformación Digital en la Agricultura: Cómo la Innovación Impulsa a Pequeños Productores en América Latina y el Caribe Disponible en: <https://farmonaut.com/south-america/transformacion-digital-en-agricultura-5-innovaciones-clave>
13. Murguía-Salas V, Ronzón-Hernández Z. 2023. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): una mirada a mitad de camino. Revisión del Objetivo 8 en México. *eq* (42): e1594. Disponible en: <https://equidad.lasalle.edu.co/article/view/545>
14. Moran M. 2024. Hambre y seguridad alimentaria - *Desarrollo Sostenible*. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/>
15. Kogut P. 2025. La agricultura sostenible: un nuevo concepto de cultivo. EOS Data Analytics. Disponible en: <https://eos.com/es/blog/agricultura-sostenible/>

16. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2023. Cultivando el futuro: agricultura sostenible y sustentable. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivando-el-futuro-agricultura-sostenible-y-sustentable>
17. Leyva-Rafull LZ, Souza-Alves de C M, Orlando RC.2001. Agricultura de precisión. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 10(3):7-10. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93210302>
18. Ivanchuk N. 2025. Cambio climático en la agricultura: cómo adaptarse. *EOS Data Analytics*. Disponible en: <https://eos.com/es/blog/cambio-climatico-y-agricultura/>
19. Culturas del mundo. 2025. ¿Sabe qué es la Agricultura de Precisión? Disponible en: <https://hablemos de culturas.com/agricultura de precisión/>
20. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2023. La escasez de agua supone menos agua para la producción agrícola, lo cual, a su vez, se traduce en una menor disponibilidad de alimentos y pone en peligro la seguridad alimentaria y la nutrición. Disponible en: <https://www.fao.org/newsroom/detail/water-scarcity-means-less-water-for-agriculture-production-which-in-turn-means-less-food-available-threatening-food-security-and-nutrition/es>
21. Ríos Hernández R. 2021.La Agricultura de Precisión. Una necesidad actual. *I Agric*; 11(1). Disponible en: <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1347>
22. International Society of Precision Agriculture. 2019. *Precision Agriculture Definition*. Disponible en: <https://www.ispag.org/resources/definitionReyes>

Vázquez M, Urrea-López, R. 2016. Retos y oportunidades para el aprovechamiento de la nuez pecanera en México. Disponible en: https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5a43b790138f4.pdf

23. Veneros J, García, Morales L, Gómez V, Torres M, López-Morales F. 2020. Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua. *IDESIA (Arica)*, 38(4): 99-107. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000400099>

Tópicos selectos de sustentabilidad: Un reto permanente para el año 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	www.gob.mx Internet	277 palabras — 1%
2	scielo.org.co Internet	213 palabras — 1%
3	www.scielo.org.mx Internet	186 palabras — < 1%
4	aridociencia.mx Internet	145 palabras — < 1%
5	revistavirtual.ucn.edu.co Internet	122 palabras — < 1%
6	www.coursehero.com Internet	118 palabras — < 1%
7	turesumen.com Internet	103 palabras — < 1%
8	es.scribd.com Internet	102 palabras — < 1%
9	elementos.buap.mx Internet	99 palabras — < 1%
10	sinergiaacademica.com Internet	

97 palabras — < 1 %

11 agroecologia.net
Internet

91 palabras — < 1 %

12 hdl.handle.net
Internet

84 palabras — < 1 %

13 rcta.unah.edu.cu
Internet

82 palabras — < 1 %

14 www.clubensayos.com
Internet

71 palabras — < 1 %

15 www.hemerodigital.unam.mx
Internet

66 palabras — < 1 %

16 ambiental.uaslp.mx
Internet

64 palabras — < 1 %

17 Carlos Enrique Angarita. "Pensamiento crítico y análisis teológico de la realidad. Fundamentos para diálogos interdisciplinarios", Realidad: Revista de Ciencias Sociales y Humanidades, 2017
Crossref

63 palabras — < 1 %

18 dspace.utb.edu.ec
Internet

55 palabras — < 1 %

19 de.slideshare.net
Internet

53 palabras — < 1 %

20 doaj.org
Internet

41 palabras — < 1 %

21 docplayer.es
Internet

41 palabras — < 1 %

22	robotnik.eu Internet	40 palabras — < 1 %
23	revistas.up.ac.pa Internet	38 palabras — < 1 %
24	repository.uniminuto.edu Internet	37 palabras — < 1 %
25	bibliotecadigital.usb.edu.co Internet	36 palabras — < 1 %
26	www.toumai.es Internet	35 palabras — < 1 %
27	vdocuments.mx Internet	27 palabras — < 1 %
28	issuu.com Internet	25 palabras — < 1 %
29	Jorge Ismael García Corleto. "Enseñanza del pensamiento crítico a través del teatro foro", AKADEMOS , 2022 Crossref	24 palabras — < 1 %
30	"Nachhaltigkeit und Innovation in internen und externen Unternehmensbeziehungen", Springer Science and Business Media LLC, 2023 Crossref	23 palabras — < 1 %
31	1library.co Internet	23 palabras — < 1 %
32	repositorio.uaaan.mx Internet	23 palabras — < 1 %
33	lp.ciriontechnologies.com Internet	

22 palabras — < 1 %

34 repositorio.uchile.cl
Internet

21 palabras — < 1 %

35 lombritec.com
Internet

20 palabras — < 1 %

36 faz.ujed.mx
Internet

19 palabras — < 1 %

37 revistas.usantotomas.edu.co
Internet

19 palabras — < 1 %

38 core.ac.uk
Internet

18 palabras — < 1 %

39 repository.usta.edu.co
Internet

17 palabras — < 1 %

40 www.acelerapyme.es
Internet

17 palabras — < 1 %

41 www.amecider.org
Internet

17 palabras — < 1 %

42 www.ecorfan.org
Internet

17 palabras — < 1 %

43 revistamercados.com
Internet

16 palabras — < 1 %

44 bdigital.uncu.edu.ar
Internet

15 palabras — < 1 %

45 revendocrinologia.sld.cu
Internet

15 palabras — < 1 %

46

santapola.es
Internet

15 palabras — < 1%

47

www.noticierosgrem.com.mx
Internet

15 palabras — < 1%

EXCLUIR CITAS

ACTIVADO

EXCLUIR FUENTES

DESACTIVADO

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO

EXCLUIR COINCIDENCIAS < 15 PALABRAS