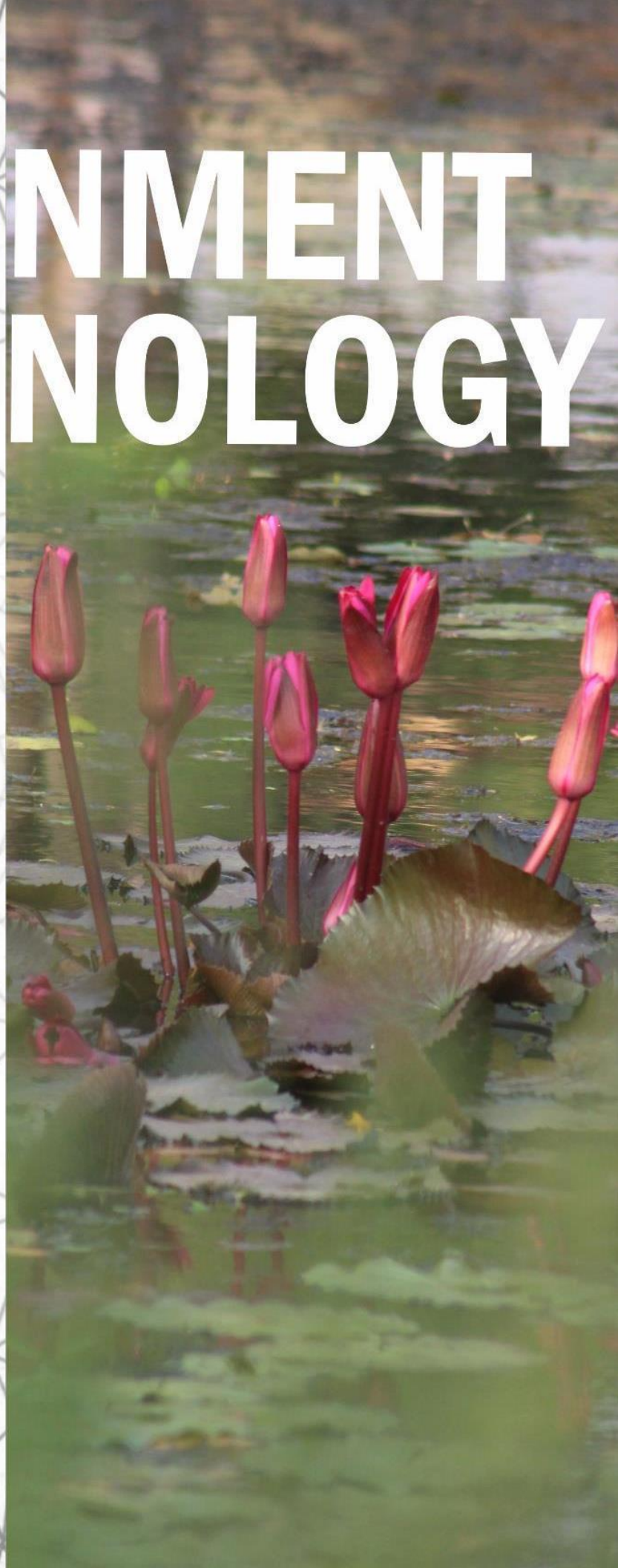
ENVIRONMENT & TECHNOLOGY



REVISTA SEMESTRAL
ENERO - JUNIO
VOL. 2, N.º 1
ISSN: 2711-4422

ENVIRONMENT & TECHNOLOGY
FOUNDATION

ENVIRONMENT & TECHNOLOGY

Vol. 2 No. 1 Enero - Junio, 2021
ISSN: 2711-4422

PROPIEDAD Y EDITORIAL

Environment & Technology Foundation

DIRECCIÓN EDITORIAL

PhD. Lilliana Piedra Castro, Costa Rica
PhD. Jaime Ernesto Rivera Hernández, México

COMITÉ EDITORIAL

MSc. Natalia García Corrales, Colombia
PhD. Fernando Ramírez Muñoz, Costa Rica
PhD. Rubén Sepúlveda Vargas, Colombia
PhD. Jorge Villadiego Lorduy, Colombia
PhD. Graciela Alcántara Salinas, México
PhD. Gustavo Barrantes Castillo, Costa Rica
PhD. Giovanni Saenz Arce, Costa Rica
PhD. Carlos Sabater Piqueres, España
PhD. Tomás Guzmán Hernández, Costa Rica
MSc. Yuri Morales López, Costa Rica
PhD. Massimo Leserri, Italia
MSc. Alfredo Esquivel Acosta, Colombia
Msc . Javier Sánchez Castillo, Colombia
PhD. Josemanuel Luna Nemecio, México
PhD. Elkin Quiñones Agamez, Colombia
PhD. Arleth Franco Peñata , Colombia

COMITÉ CIENTÍFICO

PhD. Cristian Moreira Segura, Costa Rica
PhD. Joaquín Durán Mora, Costa Rica
PhD. María F. Garrido Rubiano, Colombia
PhD. Merwan Chaverra Suárez, España
PhD. Napoleón Blanco Orozco, Nicaragua
PhD. Salvatore Barba, Italia
PhD. Elena Rustrian Portilla, México
PhD. Lina García Corrales, Colombia
PhD. Juan A. Pérez Sato, México
PhD. Eric Pascal Houbron, México
MSc. Omar Díaz Hernández, Colombia
PhD. Carmen Pérez Cervera, Colombia
Msc. Stalyn Guerrero Gómez, Colombia

E&T Foundation no asume responsabilidad por posiciones presentadas por los autores de los artículos.

Los artículos de Environment & Technology se comparten con Licencia Creative Commons: CC BY-NC-ND

MSc. Nydia Valencia Jiménez, Colombia
Msc. Concepción Amador Ahumada, Colombia
MSc. Luis López Duarte, Nicaragua
MSc. Orlando Tordecilla Correa, Colombia
ESP. Jairo Vélez Vargas, Colombia
MSc. Yhonattan Méndez Nobles, Colombia
MSc. Daniel Espinosa Corrales, Colombia
MSc. Adolfo Cortecero Bossio, Colombia
MSc. Oscar Tuiran Polo, Colombia
ESP. Pabel López Jiménez, Colombia
MSc. Jhoan Pérez Benitez, Colombia
Msc. Edgar Manotas Olascuaga, Colombia
MSc. Abel Felipe Vargas Rueda, México
PhD. Diana Corina Zambrano Moreno, Colombia
MSc. Natalia Real Luna, México
PhD. Rafael Arturo Muñoz-Márquez Trujillo, México
PhD. Rooel Campos Rodríguez, Costa Rica

COLABORADORES

Laboratorio de Recursos Naturales y Vida Silvestre. Universidad Nacional de Costa Rica (Costa Rica)

Grupo de investigación en calidad de aguas, modelamiento hídrico y ambiental. Programa de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Universidad Pontificia Bolivariana, sede Montería (Colombia)

Asociación de Geógrafos del Caribe Colombiano (Colombia)

Programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo. Instituto Tecnológico, Universidad Nacional, Universidad Estatal a Distancia (Costa Rica)

Grupo de investigación ambiente y tecnología adscrito a Environment & Technology Foundation (Colombia)

Grupo de investigación sostenibilidad y competitividad adscrito a Environment & Technology Foundation (Colombia)

Centro de Estudios Geográficos, Biológicos y Comunitarios, S.C. (México)

Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas. Universidad Nacional de Costa Rica (Costa Rica)

Programa de Maestría en Salud Pública, Universidad de Córdoba (Colombia)

Grupo de investigación huellas calidad de vida adscrito a la Maestría en Salud Pública. Universidad de Córdoba (Colombia)

Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba (México)

ASISTENTES EDITORIALES

Ing. Ana María Raminez Milanes, Colombia
Ing. Lilibeth Montes Cruz, Colombia
Ing. Pedro Payares Ramos, Colombia

FOTOGRAFÍAS

Com. Soc. Samir Ortiz Altamiranda, Colombia

DISEÑO

DG. Saidy Luz Pérez Hoyos, Colombia

Environment & Technology ISSN: 2711 4422
Vol. 2 No. 1 Enero-Junio,2021: 96-121
URL:https://revistaenvironmenttechnology.co

E & T

Artículo de revisión

· Aceites esenciales de Thymus vulgaris y Origanum vulgare subsp. hirtum para el control de Ralstonia solanacearum en cultivo de Solanum lycopersicum 1
Essential oils of Thymus vulgaris and Origanum vulgare subsp. hirtum for the control of Ralstonia solanacearu m in the crop of Solanum lycopersicum
Erika Amaya Rodríguez, Paula Andrea Sastoque Rey, Jovanna Acero Godoy

Artículos científicos

· Metabolitos con potencial fitohormonal en el cultivo de especies vegetales: aplicaciones en biotecnología.....18
Metabolites with phytohormonal potential in vegetal crops: biotechnologycal aplications
Johan Steven Alcántara Cortés, Jovanna Acero Godoy, Ruth Mélida Sánchez Mora

· Suelos supresivos y su papel en el manejo de enfermedades.....48
Suppressive soils and their role in plant disease management
José Alonso Calvo Araya

· Similitud de las propiedades físicas el biodiesel y de un fluido hidráulico para tractor.....64
Similitude of physical properties of biodiesel and a tractor hydraulic fluid
Julio A. Mata-Bulgarelli, Julio F. Mata-Segreda

· Propuesta para la gestión de residuos electrónicos en la zona central del área urbana de Montería.....80
Proposal for the management of electronic waste in the central zone of the urban area of Montería
María José Conde Noble

Los artículos de Environment & Technology se comparten con Licencia Creative Commons: CC BY-NC-ND

· Control alternativo de Fusarium oxysporum Schltdl y Pectobacterium carotovorum (Jones) Waldee et al., mediante el uso de aceites esenciales como una alternativa biológica.....96
Alternative control of Fusarium oxysporum Schltdl and Pectobacterium carotovorum (Jones) Waldee et al., by the use of essential oils as a biological alternative
Allison Stefanny Castro Monroy

· Incidencia de los modelos productivos agropecuarios actuales sobre los suelos en la vereda Cruz de Mayo del municipio de San Andrés de Sotavento.....122
Impact of current agricultural production models on soils in the vereda Cruz de Mayo of the municipality of San Andrés de Sotavento
Ayda María Anichiarico Ayala, Aylin Salgado Ávila

· Modelo de gestión para la restauración y manejo sostenible del suelo, La esmeralda sur, Tuchín – Córdoba, Colombia.....142
Management model for the restoration and sustainable management of the soil, La Esmeralda sur, Tuchín – Córdoba, Colombia
Mónica Andrea Díaz Díaz, Claudia Marcela Salazar Castellanos

Environment & Technology ISSN: 2711 4422
Vol. 2 No. 1 Enero-Junio,2021: 96-121
URL:https://revistaenvironmenttechnology.co

Editorial

Estamos buscando reactivar la economía dentro de los retos que nos impone los tiempos de pandemia. Pero estamos de acuerdo, como sociedad, de que hemos roto el equilibrio ambiental con la forma en que los aprovechamos. Y que las acciones que implementamos junto a nuestro modelo de consumo han establecido una serie de presiones sobre los ecosistemas que actúan de forma sinérgica que aumenta la vulnerabilidad y reducen su capacidad de resiliencia. Siendo que nuestra sobrevivencia como especie, está sujeta a las acciones que implementemos para conservar el ambiente.

Este gran reto, requiere que reconozcamos los servicios que ofrecen los ecosistemas y que su existencia es fundamental para que las comunidades humanas podamos desarrollarnos. La pandemia del COVID-19 nos ha puesto de manifiesto que, por ejemplo, nuestra salud depende de nuestro entorno natural. De hecho, la Organización Mundial de la Salud, estima que casi el 25% de la mortalidad de las comunidades humanas están relacionadas con la degradación del ambiente. Es tanto así, que, en medio de esta emergencia sanitaria, el acceso al agua ha sido determinante para la implementación de acciones preventivas de contagio.

Es fundamental que los ecosistemas se encuentren en buena condición o sanos para que como sociedad logremos ser resilientes ante la pandemia presente o las futuras. Diversas acciones podemos implementar para mejorar las condiciones ambientales de los ecosistemas en el planeta y que nos sigan ofreciendo los bienes y servicios que contribuyen con nuestra sobrevivencia. Entre ellas tenemos el uso de productos naturales para la producción y el manejo de especies plagas en las actividades pecuarias y agrícolas, el manejo de especies invasoras, la mejora de los suelos tropicales, la restauración y creación de humedales, la producción de energías renovables, la conservación de la biodiversidad, etc.

Por eso, es que desde esta revista estamos propiciando un espacio para difundir la información técnica y científica que contribuya a aumentar la resiliencia de las comunidades humanas y los ecosistemas vitales y/o estrategicos. Por eso el equipo editor y el comité científico han seleccionado una serie de artículos orientados a proteger el ambiente, en especial, los asociados al agua para que podamos tener los recursos de calidad y cantidad

Los artículos de Environment & Technology se comparten con Licencia Creative Commons: CC BY-NC-ND

necesarios para mantenernos en el planeta en el largo plazo. Entre los artículos de este número se encuentra: Suelos supresivos y su papel en el manejo de enfermedades; Control alternativo de *Fusarium oxysporum* Schltdl y *Pectobacterium carotovorum* (Jones) Waldee et al., mediante el uso de aceites esenciales como una alternativa biológica; Propuesta participativa para el control de las especies invasoras Gamalote (*Paspalum repens*) y Altamisa (*Ambrosia cumanensis*) dentro del Refugio Nacional de Vida Silvestre Mixto Caño Negro, Costa Rica, entre otros.

Esperamos estimado lector, sea de su agrado los artículos contenidos en el presente número.

Ph.D. Lilliana María Piedra Castro
Editora
Revista Enviroment & Technology
Laboratorio de Recursos Naturales y Vida Silvestre (LARNAVISI)
Escuela de Ciencias Biológicas
Universidad Nacional, Costa Rica

Environment & Technology ISSN: 2711 4422
Vol. 2 No. 1 Enero-Junio, 2021: 1-17
URL: https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/
DOI: https://doi.org/10.56205/ret.2-1.1

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).*

Effectiveness of essential oils of Thymus vulgaris (Thyme) and Origanum vulgare subsp.Hirtum (Greek Oregano) tested against Ralstonia solanacearum phytopathogen of the crop Solanum lycopersicum (Tomato).

Erika Amaya Rodríguez
Estudiante de Bacteriología y Laboratorio Clínico
Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca
eamayar@unicolmayor.edu.co
https://orcid.org/0000-0002-5534-1756
Colombia

Paula Andrea Sastoque Rey
Estudiante de Bacteriología y Laboratorio Clínico
Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca
psastoque@unicolmayor.edu.co
https://orcid.org/0000-0002-3216-032
Colombia

Jovanna Acero Godoy
Candidata a Doctora en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE).
Universidad Nacional, Costa Rica
Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca
jacerog@unicolmayor.edu.co
https://orcid.org/0000-0003-1656-6888
Colombia

Recibido: *22/04/2021*
Revisado: *14/07/2021*
Aprobado: *23/08/2021*

Los artículos de Environment & Technology se comparten con Licencia Creative Commons: CC BY-NC-ND

Resumen

El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) presenta una serie de fitopatógenos que invaden tejidos vasculares como lo es *Ralstonia solanacearum*, bacteria causante del marchitamiento en estos cultivos. Los aceites esenciales, son compuestos orgánicos vegetales que tienen principios volátiles en donde generalmente son modificados cuando ocurre su proceso de extracción, su composición química de fenoles, terpenos y monoterpenos les confiere capacidades antioxidantes y antimicrobianas. Según estudios *in vitro*, los AE obtenidos de las plantas *Thymus vulgaris* (tomillo) y *Origanum vulgare* subsp. *hirtum* (orégano griego) podrían llegar a ser una alternativa de manejo y erradicación de la enfermedad de marchitez bacteriana, ya que demostraron un mejor efecto inhibitorio que los antibióticos tradicionalmente utilizados en el control de plagas como la Estreptomicina y Ampicilina, sin embargo, sugieren estudios de fitotoxicidad para evaluar si estas concentraciones afectan o no el desarrollo adecuado de la planta. Esta revisión bibliográfica presenta una alternativa sostenible con el medio ambiente a través de los Aceites Esenciales (AE) para así disminuir el impacto de fitoquímicos evidenciando el biocontrol de la bacteria. Adicionalmente se propone el uso de los AE como ayuda para el manejo y erradicación de la marchitez bacteriana causada por *R. solanacearum*.

Palabras claves: Plantas; Compuestos volátiles; Microorganismo; Afectación; Marchitez.

Abstract

The tomato crop (*Solanum lycopersicum*) presents a series of phytopathogens that invade vascular tissues such as *Ralstonia solanacearum*, a bacterium that causes wilting in these crops. Essential oils are organic plant compounds with volatile principles that are generally modified during the extraction process. Their chemical composition of phenols, terpenes and monoterpenes gives them antioxidant and antimicrobial properties. According to in vitro studies, EO obtained from the plants *Thymus vulgaris* (thyme) and *Origanum vulgare* subsp. *hirtum* (greek oregano) could become an alternative for the management and eradication of bacterial wilt disease, since they proved to have a better inhibitory effect than antibiotics traditionally used in pest control such as Streptomycin and Ampicillin; however, phytotoxicity studies are suggested to evaluate whether or not these concentrations affect the adequate development of the plant. This bibliographic review presents an environmentally sustainable alternative through the use of Essential Oils (EO) to reduce the impact of phytochemicals, evidencing the biocontrol of bacteria. Additionally, the use of EO is proposed as an aid for the management and eradication of bacterial wilt caused by *R. solanacearum.*

Keywords: Plants; Volatile compounds; Microorganism; Affectation; Wilt.

Introducción

A lo largo de la historia del mundo, el hombre ha encontrado la manera de sacar provecho de los recursos naturales, especialmente de las plantas, ya que en ellas ha encontrado abrigo, alimento, medicina natural, entre otros muchos beneficios. Existen diferentes plagas y enfermedades en plantas que pueden representar serias repercusiones para la producción de los alimentos, el caso de la marchitez bacteriana del tomate *Solanum lycopersicum* L., en donde la planta es colonizada a través de su xilema por la bacteria fitopatógena *Ralstonia solanacearum* (Smith) Yabuuchi, lo que genera que la planta se infecte poco a poco, mostrando disminución de su crecimiento, amarillamiento y marchitamiento de repente causando así la muerte de la planta de una manera rápida (Pérez, 2015).

Además de la fitopatología que acarrea esta situación, se ve comprometido el factor económico debido a las pérdidas de los cultivos. *S. lycopersicum* es un cultivo de importancia económica para Colombia (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019). Se hace énfasis en la importancia del control fitosanitario para la protección de estos cultivos,

promoviendo la inclusión de metodologías alternas al uso de químicos no sintéticos, como lo son la implementación de aceites esenciales.

En Colombia, la producción de hortalizas se conforma por más o menos de 30 diferentes tipos de cultivos, de los cuales, la mayor área de cosecha es para cebolla de bulbo, zanahoria, arveja, tomate y cebolla de rama. En el caso específico del tomate hay un mayor volumen de producción en su cultivo, dado su mayor rendimiento para la producción de tomate bajo cubierta (invernadero) (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019). Colombia exporta anualmente el 29% de la cosecha de tomate; para 2016 exportó 275 toneladas netas, para 2018 un total de 582 toneladas netas y en 2019 exportó 650 toneladas netas, por lo que se puede observar un aumento anual en la cantidad de tomate que exporta el país (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019). Lo anterior muestra la importancia económica de estos cultivos y, por ende, su cuidado y protección ante patógenos como *R. solanacearum.*

Las plantas se presentan al mundo como ayudantes en el tratamiento de diversas enfermedades de humanos, plantas y animales, actualmente estudios *in vitro* han demostrado la capacidad que tienen los aceites esenciales (AE) frente a algunos microorganismos. Además, estos estudios demuestran que los aceites esenciales de *Thymus vulgaris* L. (tomillo) y *Origanum vulgare* subsp. *hirtum* (Link) Ietsw. (orégano griego) pueden inhibir el crecimiento de diferentes microorganismos fitopatógenos, entre ellos *R. solanacearum,* dado que su composición que les confiere propiedades antimicrobianas (Rueda *et al*., 2018).

Entre los componentes de los AE se encuentran diferentes compuestos fenólicos como el carvacrol, timol, compuestos terpénicos como α-Pineno, linalool, o-β-Cariofileno y monoterpenos como p-Cimeno. La diversidad química de los aceites esenciales permite que tengan actividades antimicrobianas, antioxidantes y biológicas, cuya composición química afecta directamente sus actividades, dando la oportunidad de su aprovechamiento a través de su uso como biocontrol de plagas, específicamente de *R. solanacearum*.

Hoy en día, gracias al creciente interés que se ha venido dando al uso de los extractos naturales, propiedades antioxidantes como la de las plantas de tomillo y el orégano, que son utilizados en la industria alimenticia por su alta actividad antimicrobiana, se presentan como una opción natural prometedora para disminuir el uso indiscriminado de productos químicos en los alimentos. De manera semejante se propone el uso de AE como una opción no tóxica, alterna a químicos no sintéticos, que no se ha demostrado que cause daño al ambiente, ni a la salud. También podría llegar a usarse en la prevención y el tratamiento de enfermedades producidas por compuestos sintéticos. Cabe mencionar que la composición química de los AE puede encontrarse afectada por diversos factores tales como el medio ambiente, la procedencia de la planta y también el método de extracción empleado (Acevedo *et al.,* 2013).

En este contexto, esta revisión pretende mostrar la eficacia que presentan los dos AE procedentes de plantas comunes como lo son el tomillo (*Thymus vulgaris*) y el orégano (*Origanum vulgare* subsp. *hirtum*) frente a microorganismos fitopatógenos como *Ralstonia solanacearum* que afecta los cultivos de tomate.

Metodología

Se llevó a cabo una revisión de bases científicas y fuentes de información de bases de datos como Scopus, ScienceDirect, SciELO y NCBI, con una revisión total de 33 artículos para conocer la 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).

Resultados

Tomate (*Solanum lycopersicum)*

Es una planta herbácea cuyo nombre común en Colombia es Tomate. Pertenece a la Familia Solanaceae y al género *Solanum* (Pérez, 2015). Es una planta nativa de América del Sur y actualmente su cultivo se ha extendido por todo el mundo, siendo China, Estados Unidos, Turquía y Egipto los principales países productores de esta hortaliza.

El tomate se cultiva tanto en climas cálidos como templados, con una temperatura ideal para su crecimiento entre los 21ºC y 24ºC; las temperaturas diferentes a las requeridas pueden interrumpir su desarrollo, lo cual provoca un insuficiente amarre del fruto o un aborto de flores. Para una correcta maduración del fruto, la planta necesita una temperatura de entre 18ºC a 24º C. Para alcanzar una buena pigmentación rojiza del tomate el rango apropiado de temperatura debe ser de 22ºC a 28º C. Requiere de luz entre 8 y 16 horas diarias, la humedad relativa necesaria para su cultivo oscila entre 65-70%, favoreciendo así el proceso normal de la polinización, garantizando así buena productividad (Pérez, 2015).

Para cultivar tomate se necesitan suelos de media a mucha fertilidad, profundos y bien drenados, pudiendo ser franco-arenosos, arcillo-arenosos y orgánicos. El pH del suelo preferiblemente debe estar dentro de un rango de 5.9-6.5, para tener el mejor aprovechamiento de los fertilizantes que se apliquen (Pérez, 2015).

Problemática de *Ralstonia solanacearum*

Ralstonia solanacearum es un microorganismo gramnegativo, estrictamente aerobio, crece a una temperatura óptima de 28°C, su patogenicidad se basa en infectar y obstruir el xilema de las plantas, haciendo que su hospedador presente una sintomatología como el marchitamiento, achaparramiento y amarillamiento del follaje (en algunas ocasiones puede no presentar síntomas), además, es característica la aparición de exudados pegajosos de color blanco lechoso en las plantas de tomate. Cabe destacar que la bacteria *R. solanacearum* se disemina a través del suelo y aguas contaminadas, formando allí un reservorio que facilita la infección de las plantas a través de las raíces (Pérez, 2015) (**figura 1 y 2**).

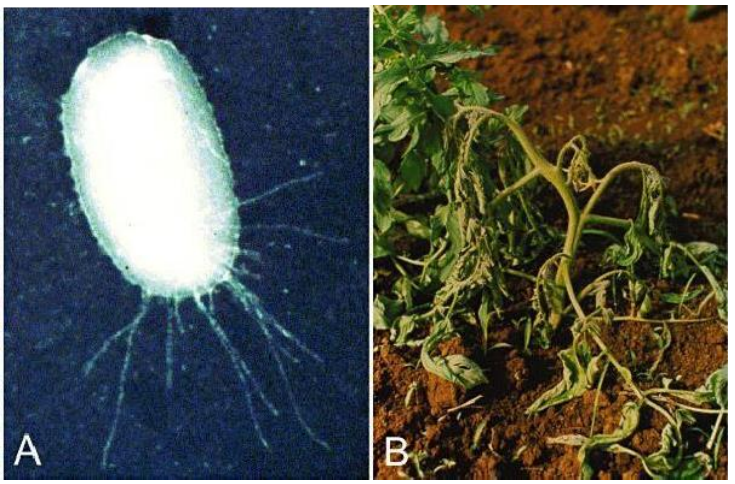


Figura 1. *Ralstonia solanacearum.* A) Fotografía (Fuente: J. Vasse) y B) Tomate con síntomas de marchitez por afectación de *R. solanacearum* (Fuente: Mansfield *et al*., 2012)

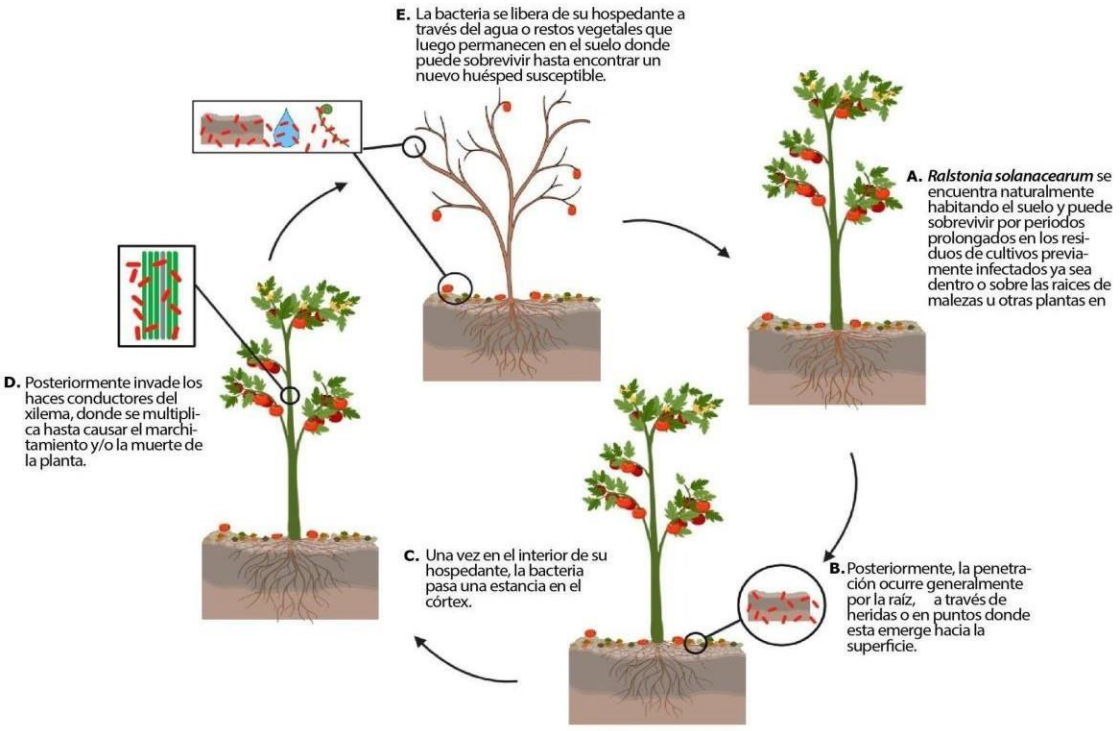


Figura 2. Ciclo de vida de *Ralstonia solanacearum* en cultivos de tomate (*Solanum lycopersicum).* Fuente: elaboración propia

R. solanacearum se encuentra entre los 10 patógenos bacterianos de importancia científica y económica en patología vegetal molecular (Mansfield *et al*., 2012). Dicha importancia se da porque tiene una gama de huéspedes muy amplia, con diversos cultivos afectados que varían desde la papa, el tomate y el banano. Se considera uno de los

microorganismos fitopatógenos más destructivos del mundo, la razón de esto es porque la especie *R. solanacearum* se compone por un grupo muy grande de cepas que varían en su origen geográfico, rango de hospedadores y comportamiento patógeno (Mansfield *et al.*, 2012).

La diversidad genética de *R. solanacearum* se presenta como una especie heterogénea subdividida en 5 razas (R1, R2, R3, R4 y R5) en base a su rango de hospederos y en seis biovares según su actividad metabólica (Bv1, Bv2, Bv3, Bv4, Bv5 y Bv6). Las cepas que comúnmente afectan al tomate integran a la raza 1 (Bv1, Bv3 y Bv4) y a la raza 3 (Bv2 y Bv2 Tropical (Bv2T)) (Perea *et al*., 2011).

La distribución geográfica de R1 se da principalmente en las tierras bajas de los trópicos y subtrópicos, como Asia, Australia y América, zonas con una alta temperatura óptima de 35 ºC; en cuanto a la R3, se encuentra presente en altitudes mayores en los trópicos y subtrópicos y algunas zonas templadas, con baja temperatura óptima de 27°C; la actividad humana proporcionó medios para su distribución mundial, principalmente debido a importación de material contaminado con *R. solanacearum* (Oliveira, 2013).

Existen dos genomas de referencia encontrados en GenBank para *Ralstonia solanacearum* ASM158715v1, Tipo Chr y Tipo Plsm, cuyas secuencias de referencia son NZ_CP012943.1 y NZ_CP012944.1, respectivamente (GenBank, 2021).

Esta enfermedad de marchitez ha sido reportada desde 1882 en Italia y en América Latina desde 1965 (López *et al*., 2016). El diagnóstico de la marchitez bacteriana se puede realizar con dos simples pruebas de campo, la primer prueba se basa en la observación de la presencia de un exudado pegajoso y lechoso, el otro diagnóstico es a través de la "prueba del flujo bacteriano" o "hilo de exudado bacteriano" (López *et al*., 2016).

El trabajo para la mejora de la calidad en la producción de los cultivos de tomate para que la planta crezca en buenas condiciones y se pueda satisfacer su demanda, está basado en el control físico, químico y biológico de las distintas amenazas para el cultivo, siendo una de las principales amenazas la enfermedad de marchitez causada por *R. solanacearum*. Por ello, alternativas como el uso de aceites esenciales se vuelven mecanismos importantes para incrementar el rendimiento de los cultivos de *S. lycopersicum*, otorgándole la capacidad a las plantas de repeler plagas a través de la inhibición del crecimiento bacteriano.

Control de la marchitez bacteriana del tomate

Al usar sustancias químicas sintéticas como control químico de enfermedades en plantas, estas ejercen actividades biocidas, con el fin de eliminar o chequear los diferentes patógenos que pueden afectar los cultivos, esta técnica es basada en emplear fungicidas y en menor escala bactericidas y nematicidas, como resultado tendríamos productos tóxicos que pueden durar en el ambiente por varios años.

Otro tipo de control químico que se ha venido realizando en la agricultura es el uso de hipoclorito de sodio (NaClO), el cual resulta ser un compuesto químico inorgánico básico y alcalino (pH más o menos de 11), es usado para el control fitosanitario dado que ayuda a

desinfectar diferentes elementos como invernaderos, (tijeras de podar, navajas, bandejas de siembra, etc.) y variedades de tipo vegetativo (tubérculos, semillas, cormos). También se emplea para eliminar microorganismos fitopatógenos existentes en el agua de riego. Investigaciones mostraron que al estar en contacto de 5 min con 2.4 mg/L de cloro libre en el agua de riego se pueden eliminar todos los hongos y oomicetos. Se estima que el uso de este agente químico (producto biocida) afecta la fauna benéfica del suelo (López *et al*., 2016).

Entre las publicaciones revisadas, encontramos métodos para tratar el suelo como esterilizantes y sustratos, siendo estrategias recomendadas para el control de la marchitez bacteriana. La fumigación es altamente efectiva para exterminar poblaciones bacterianas y otros microorganismos de las superficies. Los compuestos usados para ello incluyen al bromuro de metilo, el dazomet (basamid), el dicloropropeno (telone) y otros productos a base de isotiocianato (Ortega, 2015).

En el control biológico se emplean organismos vivos para disminuir la densidad de la población de otros microorganismos, esta técnica ha surgido como una alternativa prometedora. También, otros estudios han demostrado que el uso de *Streptomyces* sp. es efectivo en el control de la marchitez en papa (*Solanum tuberosum* L.), en plátano (*Musa* spp.) y en tomate (*S. lycopersicum*). Los experimentos utilizando hongos ectomicorrícicos también sugieren otra forma de control biológico de la enfermedad (Remache, 2018).

Son pocos los mecanismos para bio-control de plagas que no repercuten negativamente en el medio ambiente, dentro de estos se encuentran los aceites esenciales, los cuales en la actualidad toman fuerza en el mercado de bio-plaguicidas. La mayor propiedad relacionada con el uso de aceites esenciales es su modo de acción, ya que disrumpe la bicapa lipídica de las células, por lo que algunos AE tienen modos de acción específicos que los convierten en buenos sinergistas (Lugo *et al*., 2017).

Plantas promisorias para la obtención de Aceites Esenciales

***Thymus vulgaris* L. (tomillo)**

El tomillo pertenece a la familia Lamiaceae y al género *Thymus.* La especie corresponde a *Thymus vulgaris* L. (Solís, 2011). Es una planta aromática, leñosa, tiene muchas formas, de 10 a 40 cm de altura, cuando se encuentran en sitios protegidos pueden alcanzar el medio metro. Posee muchas ramas, leñosas, compactas, de color parduzco o blanco aterciopelado. De su constitución química se resaltan el aceite esencial y los flavonoides. En cuanto al aceite esencial está constituido fundamentalmente por fenoles monoterpénicos, como timol, carvacrol, p-cimeno, γ-terpineno, limoneno, borneol y linalol. Por su parte, los flavonoides, tales como la luteolina, apigenina, naringenina, eriodictol, cirsilineol, salvigenina, crisimaritina, timonina y timusina, entre otros (Solis, 2011).

Existe un riesgo muy bajo en el desarrollo de resistencia a los antimicrobianos, gracias a que el aceite esencial es un conservante natural fijo para los alimentos, ya que las mezclas de diferentes compuestos que tiene el aceite vegetal generan mecanismos de actividades antimicrobianas (Mandal *et al.*, 2016).

***Origanum vulgare* subsp. *hirtum* (orégano)**

El orégano pertenece a la familia Lamiaceae y subfamilia Nepetoideae, su género es *Origanum,* la especie *Origanum vulgare* y la subespecie *O. vulgare* subsp. *hirtum* (Solís, 2011). El Orégano es un vegetal herbáceo y aromático. En cuanto a sus hojas tanto las secas como las frescas se han venido empleando como condimento en diferentes recetas culinarias ya que da un excelente sabor a las comidas. El orégano tiene beneficios para la salud humana, y puede ayudar además a sustituir varios aditivos sintéticos de los alimentos, debido a que contiene aceites esenciales que ayudan a disminuir este uso (Acevedo *et al.,* 2013).

Los compuestos que en mayor proporción se encuentran en *O. vulgare* subsp. *hirtum* son el carvacrol, timol, p-cimeno y γ-terpineno, pero existen estudios realizados por cromatografía de gases/espectrometría de masas, en donde han identificado de 16 a 56 compuestos diferentes. Esta subespecie es la más estudiada, debido a su relación en la composición y calidad del aceite esencial, el cual tiene un significativo valor comercial. El rendimiento del aceite esencial en la hoja seca varía entre 2% y 6%, afectándose por la altitud del lugar de cultivo y por la época de recolección, sabiendo que en la época de otoño es más bajo (Solís, 2011).

Aceites esenciales

Los aceites esenciales son productos derivados agroindustriales, con un alto valor agregado, cuya característica especial es dada por su olor intenso y peculiar para cada aceite, esta condición depende del tipo de planta usada para la extracción y de la composición química de esta. Los AE son líquidos de naturaleza aceitosa, volátil, aromática, que se consiguen de diferentes partes de las plantas, particularmente de hojas y flores. Son el resultado del metabolismo secundario de la planta, el cual le sirve de protección contra microorganismos patógenos dada su capacidad para resistir insectos plaga y aminorar el apetito de algunos herbívoros al conferir un sabor desagradable a la planta (Stashenko, 2018).

De acuerdo con la especie, se estima que un aceite esencial puede contener entre 50 a 300 compuestos químicos, los cuales pertenecen a los grupos de hidrocarburos terpénicos, alcoholes, aldehídos, cetonas, éteres, ésteres, compuestos fenólicos, fenilpropanoides, entre otros (Stashenko, 2009). Los aceites han demostrado tener características insecticidas, antioxidantes, antibacterianas, antifúngicas y antivirales. Géneros diversos tales como: *Origanum* (orégano), *Thymus* (tomillo), *Cinnamomum* (canela) que presentan propiedades antioxidantes, vinculadas con los compuestos fenólicos, carvacrol y el timol, generalmente son utilizados bajo ciertas condiciones como fungicidas y bactericidas induciendo una lisis rápida de la célula bacteriana (Rueda *et al.,* 2014).

El mecanismo de acción de los AE se lleva a cabo en la membrana de la célula tras interferir en la bicapa de fosfolípidos, lo que genera el aumento de su permeabilidad, ocasionando la fuga de iones y demás componentes que están dentro de la célula (Parra, 2020). Nuevas alternativas antimicrobianas se han generado gracias a la intensa investigación realizada, basadas básicamente en la explotación de los recursos naturales, en este caso se habla

de los aceites esenciales que, con el paso del tiempo, han ganado un mayor interés debido a su actividad antimicrobiana (Gucwa *et al.,* 2018).

La diversidad química de los aceites esenciales permite que estos tengan actividades antimicrobianas, antioxidantes y biológicas, dicha composición química afecta directamente sus actividades, dando la oportunidad de generar su aprovechamiento a través de su uso como biocontrol de plagas, en este caso de *R. solanacearum*. Dentro de los componentes comunes de los AE se encuentran compuestos de bajo peso molecular como hidrocarburos mono y sesquiterpénicos y compuestos oxigenados como terpenoides (Bayen *et al.*, 2020).

Los aceites de *T. vulgaris* (tomillo) y *O. vulgare* subsp. *hirtum* (Orégano griego) tienen un alto interés potencial en las industrias cosméticas, farmacéuticas y alimentarias. Se identificó que la actividad antimicrobiana de los AE depende de sus componentes químicos. También la actividad antimicrobiana está relacionada con la presencia de compuestos fenólicos como el timol e hidrocarburos terpénicos, lo que se concluye que se puede generar nuevos antisépticos naturales aplicables en la industria farmacéutica y alimentaria (Borugă *et al.,* 2014). Por otra parte, se determinó que *O. vulgare* presenta 37 compuestos en las hojas y flores, 11 en el tallo y 29 en la raíz. Se encontraron sustancias como el Carvacrol, Timol y Cariofilina que se caracterizan por su poder insecticida natural (Leyva *et al.,* 2017).

Composición química de los aceites esenciales *Thymus vulgaris* (tomillo) y *Origanum vulgare* subsp. *hirtum* (orégano griego)

***Thymus vulgaris* (tomillo)**

La **tabla 1** presenta las composiciones químicas de *T. vulgaris* en diferentes años. La variación presentada en la cantidad relativa del aceite en cada estudio puede deberse a la zona geográfica de la cual provenía cada planta de *T. vulgaris*. Durante el estudio del 2013, los investigadores usaron una planta proveniente del municipio de Fusagasugá (Cundinamarca-Colombia); en el estudio revisado del 2014 se menciona que *T. vulgaris* fue obtenido de la zona Andina Norte (Ecuador); para el estudio del 2018 la planta de *T. vulgaris* fue adquirida y estudiada en Budapest (Hungría) y, finalmente, en el estudio del 2020 la planta provenía de Bucaramanga (Santander-Colombia).

Tabla 1.
Composición química del aceite esencial de Thymus vulgaris

Compuesto	Cantidad relativa (%)	Lugar	Referencia
α- Pineno	29	Colombia	Coy *et al.*, 2013
	3.2	Ecuador	Yáñez *et al.*, 2014
	1.6	Colombia	Parra, 2020
α-Tujeno	0.3	Colombia	Coy *et al.*, 2013
	2.1	Colombia	Parra, 2020
Canfeno	4.9	Hungría	Gömöri *et al.*, 2018
	1.3	Colombia	Parra, 2020
Carvacrol	0.78	Ecuador	Yáñez *et al.*, 2014
	3.1	Hungría	Gömöri *et al.*, 2018
	2.3	Colombia	Parra, 2020
1,8-Cineol	21.5	Colombia	Coy *et al.*, 2013
	2.0	Colombia	Parra, 2020
endo-Borneol	2.7	Colombia	Parra, 2020
Geranilato de metilo	4.8	Colombia	Coy *et al.*, 2013
Linalol	0.3	Colombia	Coy *et al.*, 2013
	1.19	Ecuador	Yáñez *et al.*, 2014
	5.3	Hungría	Gömöri *et al.*, 2018
	5.4	Colombia	Parra, 2020
o-cimeno	17.9	Colombia	Coy *et al.*, 2013
Timol	32.62	Ecuador	Yáñez *et al.*, 2014
	23.2	Hungría	Gömöri *et al.*, 2018
	21.2	Colombia	Parra, 2020
Transcarveol	3.17	Colombia	Coy *et al.*, 2013
trans-β-Cariofileno	1.6	Colombia	Coy *et al.*, 2013
	4.37	Ecuador	Yáñez *et al.*, 2014
	2.5	Hungría	Gömöri *et al.*, 2018
	5.3	Colombia	Parra, 2020
Óxido de Cariofileno	2.51	Ecuador	Yáñez *et al.*, 2014
	0.2	Hungría	Gömöri *et al.*, 2018
	1.0	Colombia	Parra, 2020
γ-Terpineno	10.0	Hungría	Gömöri *et al.*, 2018
	10.5	Colombia	Parra, 2020

Fuente: elaboración propia

La técnica utilizada para la determinación de la composición química de *T. vulgaris* en los estudios revisados del presente artículo fue la Cromatografía de Gases Acoplada a Espectrometría de Masas (CG-MS). Al realizar la comparación de los compuestos obtenidos en los estudios por los distintos autores, se puede observar que uno de los principales componentes fue el Carvacrol monoterpeno oxigenado junto con el Timol; por su parte, el Carvacrol presentó una cantidad relativa alta, de 3.1% (Gömöri *et al*., 2018), 2.3% (Parra, 2020) y 0.78% (Yáñez *et al.*, 2014).

El Timol presentó una cantidad relativa de 32.62% (Yáñez *et al.*, 2014), 23.2% (Gömöri *et al*., 2018) y 21.2% (Parra, 2020); estos compuestos anteriormente mencionados presentan una actividad antibacteriana y fungicida. Por otro lado, tenemos el compuesto Linalol, que presentó una cantidad relativa de 5.4% (Parra, 2020), 5.3% (Gömöri *et al*., 2018), 1.19% (Yáñez *et al.*, 2014) y 0.3% (Coy *et al.*, 2013), seguido del compuesto trans-β-Cariofileno, el cual presentó una cantidad relativa de 5.3% (Parra 2020), 4.37% (Yáñez *et al.*, 2014), 2.5% (Gömöri *et al*., 2018) y 1.6% (Coy *et al.*, 2013).

***Origanum vulgare* subsp. *hirtum* (Orégano griego)**

De acuerdo con los distintos autores, la composición del aceite esencial *O. vulgare* subsp. *hirtum* puede variar en la cantidad, pese a ser la misma planta en estudio, esto pudo deberse a la región geográfica de la cual obtuvieron cada una de las plantas de orégano. En el estudio de 2010 se usaron plantas provenientes de Marshall (ubicada en el condado de Lyon en el estado de Minnesota-EUA); para el estudio de 2015, la planta provino de Ermenek (ciudad y distrito de la provincia de Karaman en la región mediterránea de Turquía); durante el estudio de 2019 se usó una planta que provenía de Polonia y, finalmente, en el estudio de 2020 se usó orégano proveniente de Europa Central.

La **tabla 2** presenta la composición química del aceite esencial *O. vulgare* subsp *Hirtum,* cabe resaltar que el método de extracción de los aceites esenciales realizado en todas las investigaciones fue por cromatografía de gases-detector de ionización de llama (GC-FID) y técnicas de cromatografía de gases/espectrofotometría de masas (GC/MS).

Tabla 2.

Composición química del aceite esencial de Origanum vulgare *subsp.* hirtum

Compuesto	Cantidad relativa (%)	Lugar	Referencia
α-Humuleno	0.03	Turquía	Sarikurkcu *et al.*, 2015
	0.18	Europa Central	Węglarz *et al.*,2020
α-Terpineno	5.30	Europa Central	Węglarz *et al.*,2020
α-Terpineol	0.17	Turquía	Sarikurkcu *et al.*, 2015
	1.76	Polonia	Kosakowska *et al.*, 2019
α Thujene	0.14	Colombia	Roldan *et al.*, 2010
	1.82	Polonia	Kosakowska *et al.*, 2019
	4.11	Europa Central	Węglarz *et al.*, 2020
β-Cariofileno	1.27	Turquía	Sarikurkcu *et al.*, 2015
	1.61	Polonia	Kosakowska *et al.*, 2019
	2.80	Europa Central	Węglarz *et al.*, 2020
ß-Mirceno	0.56	Colombia	Roldan *et al.*, 2010
	2.22	Polonia	Kosakowska *et al.*, 2019
Borneol	0.14	Turquía	Sarikurkcu *et al.*, 2015
	0.11	Polonia	Kosakowska *et al.*, 2019
	2.86	Europa Central	Węglarz *et al.*,2020
ß-Pineno	0.17	Polonia	Kosakowska *et al.*, 2019
	4.01	Europa Central	Węglarz *et al.*,2020
Carvacrol	85.28	Colombia	Roldan *et al.*, 2010
	0.33	Turquía	Sarikurkcu *et al.*, 2015
	64.44	Polonia	Kosakowska *et al.*, 2019
	28.35	Europa Central	Węglarz *et al.*,2020
δ-Cadineno	0.87	Polonia	Kosakowska *et al.*, 2019
Linalol	0.37	Colombia	Roldan *et al.*, 2010
	96.31	Turquía	Sarikurkcu *et al.*, 2015
	0.2	Polonia	Kosakowska *et al.*, 2019
	0.75	Europa Central	Węglarz *et al.*,2020
Terpinen-4-ol	0.22	Colombia	Roldan *et al.*, 2010
	0.34	Polonia	Kosakowska *et al.*, 2019
	3.68	Europa Central	Węglarz *et al.*,2020
γ-Terpineno	1.84	Colombia	Roldan *et al.*, 2010
	12.18	Polonia	Kosakowska *et al.*, 2019
	28.00	Europa Central	Węglarz *et al.*, 2020
Timol	3.01	Colombia	Roldan *et al.*, 2010
	4.42	Polonia	Kosakowska *et al.*, 2019
	0.79	Europa Central	Węglarz *et al.*,2020
Timol metil éter	0.14	Colombia	Roldan *et al.*, 2010
para-Cymen	4.75	Colombia	Roldan *et al.*, 2010
	3.42	Polonia	Kosakowska *et al.*, 2019
	8.88	Europa Central	Węglarz *et al.*,2020

Fuente: elaboración propia

La mayoría de los compuestos encontrados por el estudio realizado en 2010 corresponden a monoterpenos, ya sean fenoles, oxigenados o hidrocarburos, los compuestos

de especial importancia que han mostrado actividades biológicas específicas son los monoterpenos fenólicos, el carvacrol y el timol, que son especialmente abundantes en los AE de orégano y tomillo (Roldan *et al*., 2010). De acuerdo con el estudio de 2015, se caracterizaron diez componentes en el AE de *O. vulgare* subsp. *hirtum*, que representaban el 98.97% del aceite total; los componentes más abundantes fueron el linalol (96.31%) y el β Cariofileno (1.27%), además se informa en dicho estudio que, anteriormente, el *O.vulgare* subsp. *hirtum* que crecía en Turquía contenía carvacrol, p-cimeno y γ-Terpineno como componentes principales (Sarikurkcu *et al*., 2015).

El estudio de 2019 muestra que el carvacrol fue el componente dominante del AE (hasta un 73.85%), los monoterpenos estaban presentes en las cantidades más elevadas, con un claro predominio de los monoterpenos fenólicos (timol y carvacrol), que representaban hasta el 74.59% del aceite esencial, los hidrocarburos monoterpénicos constituían hasta el 25.23% del aceite esencial, con predominando el γ-terpineno, el p-cimeno y el β-mirceno. (Kosakowska *et al*., 2019).

Para el estudio de 2020 el AE de *O. vulgare* subsp. *hirtum* se clasificó como quimiotipo mixto carvacrol/γ-terpineno, detectaron 24 constituyentes, con predominio de los hidrocarburos monoterpenos que comprenden hasta 53.43%, los monoterpenos fenólicos también estaban presentes en cantidades considerables (hasta 32.75%). Carvacrol tomó la mayor parte de esta fracción (hasta 32.02%), mientras que la parte de hidrocarburos monoterpénicos estuvo formada principalmente por γ-terpineno (hasta 28%) (Węglarz *et al*., 2020).

Actividad antibacteriana

El aceite de *T. vulgaris* (tomillo) ejerce un efecto inhibitorio contra la bacteria *R. solanacearum,* la cual, como se ha venido mencionando, tiene un impacto mundial, debido a la enfermedad de marchitez bacteriana que causa en las plantas de tomate y otras.

El poder bactericida de este AE fue medido en un estudio de 2018, mediante la técnica de difusión en agar que utilizó discos de estreptomicina y ampicilina contra *R. solanacearum* como control positivo y medio de cultivo agar dextrosa papa previamente inoculado con la cepa en estudio (aislada de tubérculos de papa). El estudio evaluó 3 diluciones (1:1, 1:5, 1:10) y se colocaron 7.5, 10 y 15 µl de cada una de las concentraciones del aceite. Frente a los efectos inhibitorios, el estudio reveló que la dilución 1:1 con una cantidad de 15µl de aceite esencial de tomillo, era eficaz reduciendo el crecimiento de *R. solanacearum,* dando por sentado que su uso podría considerarse como una alternativa para el biocontrol de dicha bacteria en plantas (Rueda *et al*., 2018).

En un ensayo preliminar se evidenció la actividad antibacteriana que presentan los AE de *O. vulgare y T. vulgaris* frente al microorganismo *Clostridium perfringens,* ya que han demostrado un efecto hacia las bacterias gramnegativas y grampositivas, con resultados similares a los que dan los antibióticos. Se observó la presencia de halos de inhibición comparado con el de la vancomicina, arrojando un resultado de inhibición igual o mayor al

50% con respecto al antibiótico, lo que indica que este extracto tiene una acción antibacteriana (Ardila *et al.,* 2009).

La actividad antimicrobiana del AE de *T. vulgaris* también ha sido medida de forma *in vitro* contra *Salmonella typhimurium, Listeria monocytogenes, Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli,* en donde presentó un efecto inhibidor satisfactorio contra todas las bacterias evaluadas, indicando la susceptibilidad de las bacterias al aceite esencial (Radünz *et al.*, 2020). Así mismo, otro estudio evaluó la actividad antibacteriana de *O. vulgare* subsp. *hirtum* y encontraron que este AE es eficaz para inhibir el crecimiento de bacterias grampositivas y gramnegativas con valores de concentración mínima inhibitoria (CMI) de entre 62.5 y 500 g/ml, dicha acción se le atribuyó a la presencia de una proporción significativa de carvacrol y timol como constituyentes fenólicos (Sarikurkcu *et al*., 2015).

Conclusiones

Es indudable que, por la falta de implementación e investigación en el campo de la agricultura en el tema de aceites esenciales, se siguen utilizando los métodos tradicionales para el control de plagas como el uso de químicos sintéticos. Partiendo del principio de sostenibilidad ambiental se propone una agricultura amigable con el planeta, a través de la implementación alternativa del biocontrol de la enfermedad de la marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum* mediante el uso de aceites esenciales, como lo son *Thymus vulgaris* (Tomillo) y *Origanum vulgare* subsp. *hirtum* (Orégano Griego), extrayendo estos aceites podemos cambiar los por métodos tradicionales de control de plagas en plantas, ya que se ha demostrado en varios experimentos su efectividad a la hora de reducir y eliminar la población de bacterias de *Ralstonia solanacearum.* Lo anterior logra impactar positivamente la economía agrícola, puesto que se puede evitar la marchitez y pérdida de los cultivos de tomate que eran afectados por *R. solanacearum.*

La cantidad relativa de los aceites esenciales de *Thymus vulgaris* (tomillo) y *Origanum vulgare* subsp. *hirtum* (orégano griego) puede variar de acuerdo con el método de extracción de este y a la zona geográfica de donde provienen las plantas. Aun así, el efecto de los AE ejercido contra *R. solanacearum* y otras bacterias sigue siendo eficaz a la hora de tratar plagas fitopatógenas.

El aprovechamiento de este tipo de recursos naturales para el control de enfermedades en plantas puede traer buenos beneficios tanto para la salud, la economía y el medio ambiente, puesto que al no fumigar los cultivos con químicos sintéticos, los alimentos producto de dichos cultivos serán más orgánicos y menos nocivos para la salud, asimismo, dejarían de perderse grandes hectáreas de cultivo de *Solanum lycopersicum* que son afectadas por la plaga de *Ralstonia solanacearum,* lo cual puede lograr una eficiencia en la producción y, además, el uso de AE tiene un impacto positivo en el medio ambiente porque se degradan rápidamente y no contaminan.

Literatura citada

Acevedo, D., Navarro, M., y Monroy, L. (2013). Composición química del aceite esencial extraído de hojas de orégano (*Origanum vulgare*). *Información tecnológica*, *24*(4), 43-48. Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642013000400005&lng=en&nrm=iso&tlng=en

Ardila, M., Vargas, A., Pérez, J., Mejía, L. (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), 37-46. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-95502009000100007&lng=en&tlng=es.

Bayen, B., Karboune, S., Khodaei, N., Minh, M., Mdimagh, A. (2020). Compositional diversity and antioxidant properties of essential oils: Predictive models. *Department of Food Science and Agricultural Chemistry*, 138, 110684. Recuperado de: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643820316728

Borugă, O., Jianu, C., Mişcă, C., Goleţ, I., Gruia, A.T., Horhat, FG. (2014). *Thymus vulgaris* essential oil: chemical composition and antimicrobial activity. *Journal of Medicine and Life*, *7*(Spec Iss 3), 56–60. Recuperado de: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4391421/

Coy-Barrera, C.A., Acosta, G.E. (2013). Actividad antibacteriana y determinación de la composición química de los aceites esenciales de romero (*Rosmarinus officinalis*), tomillo (*Thymus vulgaris*) y cúrcuma (*Curcuma longa*) de Colombia. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 18 (2). Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962013000200007&lng=es&tlng=es.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2021). Nuevos balances de alimentos. FAOSTAT. Recuperado de: http://www.fao.org/faostat/es/#data/FBS

Gömöri, C., Vidács, A., Kerekes, E., Nacsa, E., Böszörményi, A., Vágvölgyi, C., Krisch, J. (2018). Altered Antimicrobial and Anti-biofilm Forming Effect of Thyme Essential Oil due to Changes in Composition. *Natural Product Communications*, *13*(4), 483-487. Recuperado de: https://doi.org/10.1177/1934578X1801300426

Gucwa, K., Milewski, S., Dymerski, T., Szweda, P. (2018). Investigation of the Antifungal Activity and Mode of Action of *Thymus vulgaris, Citrus limonum, Pelargonium graveolens, Cinnamomum cassia, Ocimum basilicum*, and *Eugenia caryophyllus* Essential Oils. *Molecules*, *23* (5), 1116. Recuperado de: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6099571/

Kosakowska, O., Węglarz, Z., Bączek, K. (2019). Yield and quality of 'Greek oregano' (*Origanum vulgare* L. subsp. *hirtum*) herb from organic production system in temperate

climate. *Industrial Crops and Products*, *141*, 111782. Recuperado de: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669019307927?via%3Dihub

Leyva, N., Gutiérrez, E., Vázquez, G., Heredia, J. (2017). Essential Oils of Oregano: Biological Activity beyond Their Antimicrobial Properties. *Molecules 22*(6), 989. Recuperado de: https://doi.org/10.3390/molecules22060989

López, M., Morán, S., Segovia, J. (2016). Manejo fitosanitario de la marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum* E.F. Smith) del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Trabajo de Grado. Universidad de El Salvador. Recuperado de: http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/9461/1/13101601.pdf

Lugo-Trampe, Morales, F. (2017). Uso de los aceites esenciales en el control de plagas. *Artrópodos y Salud*, *7*(1), 44-53. Recuperado de: http://artropodosysalud.com/Publicaciones/No7-Jun2017/7Aceites_esenciales.pdf

Mandal, S., DebMandal, M. (2016). Chapter 94 - Thyme (*Thymus vulgaris* L.) Oils. Pp. 825-834. In Preedy, V.R. (Ed.). *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*. Academic Press. Elsevier. Recuperado de: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124166417000948?via%3Dihub

Mansfield, J., Genin, S., Magori, S., Citovsky, V., Sriariyanum, M., Ronald, P., Dow, M., Verdier, V., Beer, S., Machado, M., Toth, I., Salmond, G., Foster, G. (2012). Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology 13*(6), 614-629. Recuperado de: https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1364-3703.2012.00804.x

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). Cadena de las Hortalizas. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales. Gobierno de Colombia, Colombia. Recuperado de: https://sioc.minagricultura.gov.co/Hortalizas/Documentos/2019-12-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf

Oliveira, F. (2013). Environmental cues controlling the pathogenicity of *Ralstonia solanacearum* on plants. *Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona, España*. Recuperado de: https://1library.co/document/7qvxm01y-environmental-controlling-pathogenicity-ralstonia-solanacearum-ambientales-patogenicidad-solanacearum.html

Ortega, E. (2015). La mancha bacteriana del tomate *Ralstonia solanacearum* sus características y manejo integrado. *Especialización en cultivos tropicales. Curso epidemiología aplicada al manejo de los cultivos tropicales*. Recuperado de: https://www.academia.edu/16277626/Marchitez_bacteriana_en_tomate_Ralstonia_solanacearum_sus_caracter%C3%ADsticas_y_manejo_integrado

Parra, S. (2020). Estudio de la composición química y actividad biológica de aceites esenciales de Cardamomo (*Elettaria cardamomum*) y Tomillo (*Thymus vulgaris*). *Universidad*

Santo Tomás, Bucaramanga, Colombia. Recuperado de: https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/22342/2020ParraSilvia.pdf?sequence=6&isAllowed=y

Perea, J., García, R., Allende, R., Carrillo, J., León, J., Valdez, B., López, F., Sary, M. (2011). Identificación de razas y biovares de *Ralstonia solanacearum* aisladas de plantas de tomate. *Revista mexicana de fitopatología*, *29*(2), 98-108. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092011000200002&lng=es&tlng=es.

Pérez, R. (2015). Evaluación agronómica de la resistencia a marchitez bacteriana, causada por *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith, en cuatro portainjertos comerciales de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), bajo condiciones protegidas de casa malla, en el municipio de Ipala, Chiquimula. *Universidad de San Carlos de Guatemala. Centro Universitario de Oriente Agronomía.* Recuperado de: http://cunori.edu.gt/descargas/Resistencia_Ralstonia_solanacearum.pdf

Radünz, M., Hackbart, H., Mota, T., Paes, C., Primon, F., Dal Magro, J., Sanches, P., Avila, E., Radünz, A., Zavarezea, E. (2020). Antimicrobial potential of spray drying encapsulated thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil on the conservation of hamburger-like meat products. *International Journal of Food Microbiology, 330*, 108696. Recuperado de: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168160520301902

NCBI (National Center for Biotechnology Information). *Ralstonia solanacearum.* Genbank. Recuperado de: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome/?term=ralstonia+solanacearum

Remache, F. (2018). Evaluación del efecto de microorganismos antagonistas en el control de la marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum* E. F. Smith), presente en plantaciones de eucalipto tropical (*Eucalyptus urograndis*) en la Hacienda Los Ángeles, Cantón Buena Fé, Provincia de Los Ríos. Tesis de licenciatura, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Forestal, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. Recuperado de: http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/8492/1/33T0179.pdf

Roldán, L., Díaz, G., Duringer, J. (2010). Composition and antibacterial activity of essential oils obtained from plants of the Lamiaceae family against pathogenic and beneficial bacteria. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 23*(4), 451-461. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-06902010000400006&lng=en&tlng=en.

Rueda, E., Hernández, L., Holguin, R., Ruiz, F., López, J., Huez, M., León, J., Borboa, J., Ortega, J. (2014). *Ralstonia solanacearum:* Una enfermedad bacteriana de importancia cuarentenaria en el cultivo de *Solanum tuberosum* L. *Invurnus, 9*(1), 24-36. Recuperado de: http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/672

Rueda, E., Juvera, J., Romo, I., Holguín, R. (2018). Evaluación de la actividad antibacteriana *in vitro* de aceites esenciales de orégano y tomillo contra *Ralstonia solanacearum*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 20*, 4251-4261. Recuperado de: http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/editorial/index.php/agricolas/article/view/995/832

Sarikurkcu, C., Zengin, G., Oskay, M., Uysal, S., Ceylan, R., Aktumsek, A. (2015). Composition, antioxidant, antimicrobial and enzyme inhibition activities of two *Origanum vulgare* subspecies (subsp. *vulgare* and subsp. *hirtum*) essential oils. *Industrial Crops and Products, 70*, 178-184. Recuperado de: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669015002198

Solís, P. (2011). "Evaluación de la Actividad Antimicrobiana de los Aceites Esenciales de *Orégano(Origanum vulgare L) y Tomillo (Thymus vulgaris L)* Como Potenciales Bioconservadores en Carne de Pollo". Bioquímico Farmacéutico. Recuperado de: http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/1992/1/56T00300.pdf

Shukla, P., Bajpai, K., Tripathi, S., Kumar, S., Gautam, G. K. (2013). A Review on the Taxonomy, Ethnobotany, Chemistry and Pharmacology of Solanum *Lycopersicum* Linn. *International Journal of Chemistry and Pharmaceutical Sciences, 1*(8), 521-527. Recuperado de: https://www.pharmaresearchlibrary.com/wp-content/uploads/2014/01/PRL2013-IJCPS-1912.pdf

Stashenko, E. (2009). Aceites Esenciales. *Universdidad Industrial de Santander, Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales, Aromáticas y Medicinales Tropicales-CENIVAM*. Departamento Administrativo de Ciencias, Tecnología e Innovación. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, República de Colombia. Recuperado de: https://es.slideshare.net/maldomar/aceites-esenciales-10750274

Stashenko, E. (2018). Del laboratorio al campo: el desarrollo y perspectivas de la industria de aceites esenciales en Colombia. *Centro de Investigación de Biomoléculas, CENIVAM, Universidad Industrial de Santander*. Bucaramanga, Colombia. Recuperado de: https://revistas.uis.edu.co/index.php/memoriasuis/article/download/10068/10067/

Węglarz, Z., Kosakowska, O., Przybył, J., Pióro-Jabrucka, E., Bączek, K. (2020). The Quality of Greek Oregano (*O. vulgare* L. subsp. *hirtum* (Link) Ietswaart) and Common Oregano (*O. vulgare* L. subsp. *vulgare*) Cultivated in the Temperate Climate of Central Europe. *Foods, 9*(11), 1671. Recuperado de: https://doi.org/10.3390/foods9111671

Yánez, P., Escoba, A., Molina, C., Zapata, G. (2014). Comparación de la actividad acaricida de los aceites esenciales de *Ocimum basilicum, Coriandrum sativum y Thymus vulgaris* contra *Tetranychus urticae*. *La Granja, 19*(1). Recuperado de: https://doi.org/10.17163/lgr.n19.2014.01

Environment & Technology ISSN: 2711 4422
Vol. 2 No. 1 Enero-Junio, 2021: 18-47
URL: https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/
DOI: https://doi.org/10.56205/ret.2-1.2

Metabolitos con potencial fitohormonal en el cultivo de especies vegetales: aplicaciones en biotecnología

Metabolites with phytohormonal potential in vegetal crops: biotechnologycal aplications

Johan Steven Alcántara Cortés
Estudiante de Bacteriología y Laboratorio Clínico.
Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.
Grupo de Investigación Biotecnología y Genética UCMC.
Correo: jalcantara@unicolmayor.edu.co
https://orcid.org/0000-0003-1176-2599
Colombia

Jovanna Acero Godoy
Bacteriología y Laboratorio Clínico. Msc Microbiología.
Estudiante de Doctorado DOCINADE, Costa Rica.
Correo: jacerog@unicolmayor.edu.co
https://orcid.org/0000-0003-1656-6888

Colombia
Ruth Mélida Sánchez Mora
Bacteriología y Laboratorio Clínico. PhD Biotecnología.
Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.
Correo: rmsanchezm@unicolmayor.edu.co
https://orcid.org/0000-0002-0572-8418
Colombia

Resumen

Existen reguladores de crecimiento o fitohormonas que son utilizadas en los cultivos de especies vegetales *In vitro* /*Ex vitro*; actualmente se han descubierto más de 10 grupos de compuestos fitohormonales que se utilizan para acelerar y controlar de manera específica el crecimiento de los organismos vegetales o algunos de sus tejidos. Así mismo, se han estudiado diferentes fuentes de metabolitos con potencial fitohormonal sintéticos y orgánicos, con el fin de ser utilizadas en diferentes procesos biotecnológicos. La búsqueda de nuevas fuentes metabólicas para la producción de reguladores de crecimiento permite mejorar la calidad de la producción de plantas, disminuir costos de producción y obtener mejores productos derivados de ellas como los metabolitos secundarios; el objetivo de esta revisión fue describir el uso de algunas fuentes biológicas de origen vegetal como las lentejas, el agua de coco, el *Aloe vera* y la miel, además, fuentes de origen microbiológico como las rizobacterias, micorrizas y enterobacterias con capacidad de producción de metabolitos con potencial fitohormonal. Estas fuentes pueden

Recibido: *15/03/2021*
Revisado: *01/08/2021*
Aprobado: *23/08/2021*

Los artículos de Environment & Technology se comparten con Licencia Creative Commons: CC BY-NC-ND

ser utilizadas en diferentes procesos de biotecnología vegetal. También se revisaron algunos microrganismos que pueden actuar como bioestimulantes (bacterias y micorrizas) que tienen potencial para mejorar el crecimiento vegetal. El uso de estas nuevas fuentes metabólicas permitirá facilitar el proceso de producción vegetal *In vitro* y/o *Ex vitro*, buscando de esta manera técnicas novedosas que permitan reemplazar los reguladores empleados comúnmente (ácido naftalen-acético; 2,4-D; ácido indol butírico, etc.), que suelen ser costosos y tóxicos para el ambiente por las técnicas utilizadas para su producción.

Palabras clave: Reguladores de crecimiento vegetal; Metabolitos secundarios; Metabolismo vegetal, Enraizantes; Bioestimulantes.

Abstract

There are growth regulators or phytohormones that are used in the cultures of plant species *In vitro / Ex vitro*; currently more than 10 groups of phytohormonal compounds have been discovered that are used to accelerate and specifically control the growth of plant organisms or some of their tissues. Likewise, different sources of synthetic and organic metabolites with phytohormonal potential have been studied in order to be used in different biotechnological processes. The search for new alternatives based on metabolic sources for the production of growth regulators, allows improving the quality of plant production, reducing production costs and obtaining better products derived from them such as secondary metabolites; The objective of this review was to describe the use of some biological sources of plant origin such as lentils, coconut water, *Aloe vera* and honey, as well as sources of microbiological origin such as rhizobacteria, mycorrhizae and enterobacteria with the capacity to produce metabolites with phytohormonal potential in biotechnological processes. Some biostimulant microorganisms were also reviewed, such as bacteria and mycorrhizae with the potential to improve plant growth. The use of these new metabolic sources will facilitate the plant production process In vitro and / or Ex vitro, thus seeking novel techniques to replace the regulators used exclusively (naphthalene-acetic acid; 2,4-D; indole butyric acid, etc.), which are usually expensive and toxic for the environment due to the techniques used for their production.

Key words: Vegetal Growth Regulators; Secondary Metabolites; Plant Metabolism; Root Enhancer; Biostimulants

Introducción

El desarrollo de nuevas alternativas para obtener determinados reguladores metabólicos se ha convertido en un reto de gran importancia, demostrando que existen formas naturales de obtener este tipo de fitohormonas (Tadeu, 2019). Dentro de los reguladores de crecimiento vegetal más importantes se puede destacar el uso de las auxinas, giberelinas, citoquininas, etileno, brasinoesteroides, ácido salicílico, entre otros, los cuales son capaces de promover y mejorar, en pequeñas concentraciones, el desarrollo y crecimiento vegetal (Hussain, Ahmed, Nazir y Ullah, 2012).

El poder reemplazar de manera paulatina estos reguladores que favorecen el control del crecimiento vegetal, podría mejorar los costos de producción de especies vegetales *In vitro/Ex vitro* utilizadas en diferentes actividades como lo es la producción de medicamentos, alimentos, extracción de metabolitos secundarios, antimicrobianos, compuestos antiinflamatorios, entre otros y utilizados a nivel biotecnológico, industrial, farmacológico,

químico y médico (McDougall, 2011; Mgbeahuruike, Yrjönen, Vuorela y Holm, 2017; Ndjonka, Rapado, Silber, Liebau y Wrenger, 2013). El objetivo principal de esta revisión fue documentar información sobre las nuevas alternativas de producción de fitohormonas capaces de generar e inducir la producción de sistema radicular (enraizantes), para facilitar el proceso de multiplicación que se requiere actualmente en la industria.

Metodología

Durante esta revisión se seleccionaron artículos de diferentes bases de datos de investigación como Pubmed, Science Direct, Scopus, Taylor and Francis Group, Google Scholar, Scielo y ResearchGate, entre otros. Como criterio de inclusión se utilizaron como palabras clave: fitohormonas, reguladores de crecimiento vegetal, metabolismo vegetal, cultivo de tejidos vegetales, aplicación de organismos vegetales, bacterias promotoras del crecimiento vegetal (Plant Grow Promotional Bacteria), micorrizas promotoras del crecimiento vegetal (Plant Growth Mycorrhiza) y extractos vegetales como enraizantes. Cada artículo fue seleccionado de acuerdo con el contenido temático que abarcaba y a partir de la información obtenida se hizo una recopilación sobre los principales conceptos involucrados en la producción de fuentes orgánicas con potencial fitohormonal y su posible aplicación en el cultivo de especies vegetales de manera *In vitro* o *Ex vitro*.

Resultados y discusión

Las plantas superiores producen fitohormonas de carácter auxínico, giberélico y citoquinínico como clave principal en cada etapa de desarrollo (Smith, Li y Li, 2017). Las bacterias, hongos y micorrizas producen específicamente algunas hormonas como auxinas y poliaminas (Karnawal, 2009; Kaur, Tiburcio, Altabella y Galston, 2003), que pueden aumentar la proliferación de las raíces vegetales para aumentar la captación de nutrientes o pueden producir por el contrario, otro tipo de hormonas de carácter regulador como las giberelinas o el ácido abscísico, que pueden aumentar los estados de floración o pueden inducir la resistencia frente a factores abióticos (respectivamente) en las plantas (Finkelstein, 2013; Salazar, Martínez, García, Pérez y Martínez, 2018). Existen otros metabolitos producidos por estos organismos (fuente fitohormonal) que son desconocidos y que podrían mejorar el crecimiento vegetal de manera indirecta. Ciertos metabolitos como flavonoides, alcaloides, compuestos

fenólicos, saponinas, oxalatos y fitohormonas han demostrado que tienen la capacidad de afectar el crecimiento celular y desarrollo vegetal (Erb y Kliebenstein, 2020; Okukpe et al., 2012).

Reguladores de crecimiento vegetal

En fisiología vegetal las fitohormonas coadyuvan a nivel metabólico con procesos de control del crecimiento y desarrollo de órganos (generalmente familias hormonales pertenecientes a las citoquininas, giberelinas y auxinas), algunas de estas sustancias como el ácido jasmónico, el etileno y el ácido salicílico también se han visto involucradas en la señalización de procesos de protección contra patógenos, así como la activación y regulación de la expresión genética (Dey, Sarkar, Acharya y Maiti, 2015; Flasiński y Hac, 2014a; Imran y Yun, 2020).

Las fitohormonas pueden ser sintetizadas de manera natural en los vegetales como consecuencia del proceso que atañe al metabolismo vegetal primario-secundario, debido a la necesidad genotípica y fenotípica que la planta requiere, siendo importante la producción de estas sustancias en el medio celular para mantener el equilibrio de la fisiología y el desarrollo de los dos sistemas que las plantas necesitan para sobrevivir (sistema radicular y sistema vascular) (Freeman, 2009). Así mismo, se observa que una sola célula vegetal (célula meristemática) que sea estimulada con un regulador de crecimiento específico puede llegar a proliferar y diferenciar en un tipo de órgano especializado, el cual puede convertirse en un vástago vegetal, una hoja e incluso una raíz, dependiendo de cuál sea el estímulo aplicado (George, Hall y Klerk, 2008a; Morales, Espinosa y Garza, 2016; Radice, 2010). Otros estudios han comprobado la capacidad productiva que las células vegetales poseen en el inicio de su desarrollo para sintetizar de manera natural algunos reguladores de crecimiento vegetal (Hosny, Hammad, Sharbasy y Zayed, 2016; Sherif, 2017). Los reguladores de crecimiento se clasifican según el efecto promotor o inhibidor de acuerdo con la respuesta que se genera al ser aplicados en tejidos vegetales de manera *In vitro* y *Ex vitro* (absición, proliferación, senescencia) (Garay, de la Paz, García, Álvarez y Gutiérrez, 2014; Hussain et al., 2012; Sajjad, Jaskani, Asif y Qasim, 2017).

Las fitohormonas más empleadas y estudiadas hasta la fecha se pueden clasificar por sus características químicas, orgánicas y fisiológicas en grandes grupos de familias como lo son

las auxinas, las giberelinas, las citoquininas, el ácido abscísico, el ácido salicílico, el etileno, las estrigolactonas, el ácido jasmónico y sus derivados, los brasinoesteroides y, por último, las poliaminas (**tabla 1)** (Vega, Canchignia, González y Seeger, 2016a).

Tabla 1.

Principales familias fitohormonales más estudiadas en la aplicación del desarrollo vegetal a nivel In vitro y Ex vitro

Familia Fitohormonal	Función esencial a nivel vegetal
Auxinas	Aumenta la proliferación y desarrollo celular de los órganos jóvenes (elongación celular)
Giberelinas	Diferenciación de órganos sexuales y control de la germinación
Citoquininas	Importante en la estimulación de yemas axilares y brotes apicales. Promoción del desarrollo de raíces
Etileno	Regulación de órganos sexuales y maduración de frutos
Ácido Abscísico	Regulación de la dormancia de semillas. Maduración embrionaria
Ácido salicílico	Aumento de la actividad del crecimiento y longevidad floral
Poliaminas	Esenciales para la producción de raíces en las plantas (elongación)
Estrigolactonas	Involucradas en cambios a respuestas adaptativas. Mejora el desarrollo del sistema radicular
Brasinoesteroides	Regula crecimiento de raíces, estomas y vástago vegetal
Ácido Jasmónico y sus derivados	Regulan procesos de maduración embrionaria y formación de raíces. Hacen parte de la señalización inmune

Fuente: elaboración propia a partir de Freeman (2009)

El efecto de las fitohormonas puede variar según su aplicación endógena o exógena y pueden ser producidos por otros tipos de organismos además de los vegetales e incluso pueden ser sintetizados de manera industrial (reguladores de crecimiento vegetal) (Flasiński y Hac, 2014b; Lara, Oviedo y Betancur, 2011). Gracias al uso de estas fitohormonas se han identificado diferentes funciones específicas para su aplicación a nivel vegetal (Cruz, Melgarejo y Romero, 2012). Algunas como las auxinas, las poliaminas, los brasinoesteroides y las estrigolactonas son las que se han estudiado con mayor potencial enraizante (Cruz et al., 2012; Fazilati y Forghani, 2015; Hernández y Martínez, 2016), que pueden inducir de manera específica la proliferación del tejido del sistema radicular aumentando la longitud de raíces adventicias y primarias; algunas fuentes metabólicas (principalmente vegetales) poseen potencial enraizante debido a que presentan una alta concentración de fitohormonas pertenecientes a estas familias a nivel metabólico y son capaces de producirlas como consecuencia de la activación de varias rutas metabólicas (Wani, Kumar, Shriram y Sah, 2016).

Otras fuentes de metabolitos con potencial fitohormonal

Los extractos vegetales y bacterianos pueden ser utilizados como una fuente metabólica de fitohormonas (Patil, 2019; Roy y Asaduzzaman, 2006). Estos extractos son empleados en el cultivo de tejidos llegando a tener un alto potencial en el futuro para ser utilizados como reemplazo de los reguladores de crecimiento convencionales (Jang y Kuk, 2019). Las plantas por sí solas pueden generar fitocompuestos de manera endógena, que utilizan para regular procedimientos que ocurren a nivel bioquímico dentro de la homeostasis vegetal y que funcionan como medio de control de muchas de las reacciones metabólicas para garantizar la supervivencia dentro del nicho ecológico (crecimiento de hojas, raíz, tallo, flores, frutos); la carencia de compuestos fitohormonales pueden llevar a la inviabilidad del organismo vegetal (Calvo, Nelson y Kloepper, 2014; Melgarejo, 2010).

Estudios de la composición bioquímica de las plantas han permitido el aislamiento y caracterización de fitohormonas, además de la descripción composicional de los macro y micronutrientes, lo que ha generado una ruptura del paradigma del uso de sustancias químicas exclusivamente para mejorar el crecimiento vegetal, ya que las plantas por sí solas las producen y pueden ser extraídas de las mismas (Calvo et al., 2014; Melgarejo, 2010). La presente revisión ha permitido identificar cuatro especies vegetales o derivados orgánicos que contienen sustancias que pueden ser utilizadas como promotores del crecimiento vegetal: *Aloe vera* (L.) Burm. f., agua de coco (*Cocos nucifera* L.), extracto de agua de *Lens* spp. y la miel de abeja (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) han sido utilizados en ensayos como potenciales enraizantes en los cultivos vegetales (Giraldo, Ríos y Polanco, 2009; Hosny et al., 2016; Pascolini, 2013).

Enraizantes provenientes de organismos vegetales y sus aplicaciones biotecnológicas

A una sustancia se le considera enraizante cuando promociona o mejora el crecimiento y formación de raíces por medio de la aplicación de diferentes nutrientes o fitohormonas que son capaces de generar dicho efecto a nivel celular (Cruz et al., 2012; Mendoza, 2013). Estas sustancias pueden ser de origen sintético o natural y tienen la capacidad de inducir la división y crecimiento celular radicular (Mendoza, 2013).

Los compuestos enraizantes obtenidos de extractos vegetales (alto nivel nutricional y fitohormonal) han demostrado tener efectos relacionados con el desarrollo del crecimiento de los órganos vegetales, ya que afectan el desarrollo de la actividad celular, por lo que podrían

reemplazar de manera paulatina la utilización de sustancias químicas y sintéticas en la gestión de la producción masiva de especies vegetales, siendo esta una de sus aplicaciones biotecnológicas (Pascolini, 2013). Existen diversas formas y tipos de obtención de sustancias enraizantes con el fin de mejorar el crecimiento vegetal (Venkatachalam, Kalaiarasi y Sreeramanan, 2015), debido a la utilidad que presentan sus rutas metabólicas para generar compuestos en forma de metabolitos primarios-secundarios (en el caso de las plantas) o secundarios (en el caso de rizobacterias, hongos, parásitos, etc.), que posteriormente podrán aplicarse en el proceso de desarrollo que se requiere en la producción de plantas a nivel industrial (Bílkay, Karakoç y Aksöz, 2010; Mansour, Aldesuquy y Hamedo, 1994; Miezah, Ofosu, Budu, Enu y Cofie, 2008; Pascolini, 2013; Sivasankari, 2014)

Dentro de las sustancias más conocidas como "Enraizantes Sintéticos" y que pueden ser producidas de manera artificial, se encuentran a nivel comercial AIB (ácido indol butírico), 2,4-D (dinitrofenilhidrazina) y NAA (ácido naftalenacético), por su sencilla y fácil manipulación en ensayos realizados de manera *In vitro* para regular e inducir la producción de raíces, este tipo de reguladores de crecimiento pertenecientes principalmente a la familia de las auxinas, son empleados en el proceso de producción vegetal por medio de técnicas como la organogénesis directa para generar el sistema radicular en las plantas (Martins, Schimildt, Alexandre, Santos y Magevski, 2013). Su utilización en procesos de siembra de manera *In vitro* y *Ex vitro* ha demostrado alta efectividad; sin embargo, sus altos costos de producción han ocasionado su difícil acceso a corto plazo para la generación de procesos biotecnológicos vegetales, como lo puede ser la creación de bancos de germoplasma para estudios metabólicos vegetales o para realizar procesos de siembra a partir de reproducción asexual vegetal de manera *Ex vitro* (Flasiński y Hac, 2014b). Por otro lado, la biotecnología vegetal ha buscado la manera de obtener "Enraizantes Orgánicos", capaces de mejorar el crecimiento de las plantas gracias a los recursos biológicos presentes en el metabolismo vegetal, bacteriano y fúngico (Calvo et al., 2014; Filová, 2014; George, Hall y Klerk, 2008b; Gupta y Chakrabarty, 2013; Hussain et al., 2012).

Enraizantes sintetizados por algunos extractos vegetales

Existen estudios que comprueban que diferentes organismos pluricelulares y unicelulares pueden producir sustancias que inducen y promueven el crecimiento vegetal (Hussain et al., 2012; Meena, Maurya y Verma, 2014; Mendoza, 2013; Sherif, 2017), por lo que se han aprovechado tres tipos de organismos para el aislamiento de sustancias que estimulen la diferenciación y desarrollo celular. Estos tres organismos son las plantas, bacterias del suelo rizosférico y micorrizas (Calvo et al., 2014). Dentro de los enraizantes obtenidos por extractos vegetales se han considerado las siguientes fuentes:

Aloe vera

El *Aloe vera*, conocido comúnmente como sábila, perteneciente a la clase de las Liliopsidas (planta monocotiledónea) y a la familia Asphodelaceae es una de las plantas medicinales más estudiadas y ha demostrado ser también de gran utilidad para la siembra de tejidos vegetales *In vitro* y *Ex vitro*. La familia Asphodelaceae posee más de 360 especies encontradas a nivel mundial. A nivel morfológico, *Aloe vera* presenta grandes hojas perennes en forma de roseta capaces de alcanzar hasta 50 cm de altura; el mucílago de *Aloe vera* contiene células del parénquima con la mayor producción de fitohormonas (**figura 1**) (Domínguez et al., 2012).

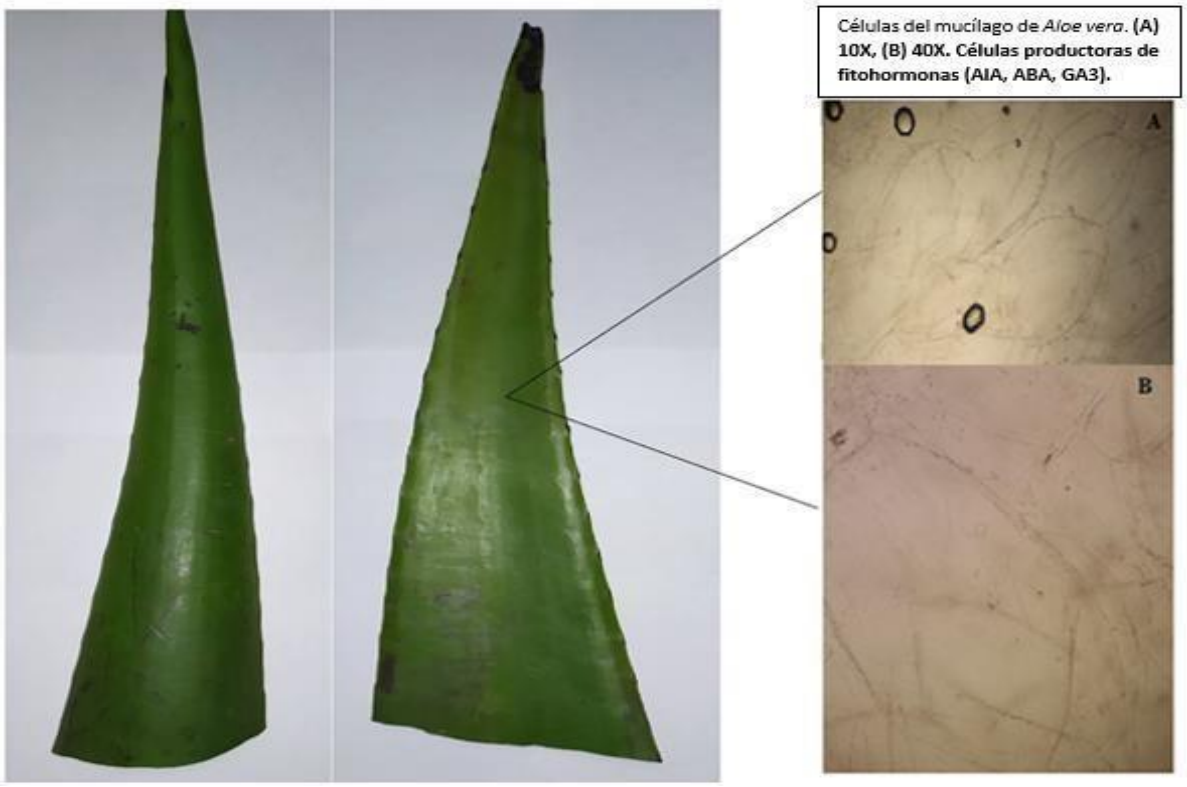


Figura 1. Morfología macroscópica y microscópica de la hoja de *Aloe vera*. Elaboración propia

Domínguez et al. (2012) y Sherif (2017) recopilaron información fitoquímica de la planta *Aloe vera* (**tabla 2**) que determinaron la presencia de diferentes compuestos, tales como antraquinonas, vitaminas, minerales, carbohidratos, lípidos, compuestos orgánicos y enzimas capaces de modular el desarrollo de otras plantas; además, se ha reportado que esta planta posee una gran cantidad de macronutrientes y micronutrientes, por lo que, por su alto contenido nutricional, en adición a la presencia de otras sustancias como giberelinas y campesterol (interacciones fitohormonales) en el gel de las hojas del *Aloe vera*, esta planta puede favorecer el crecimiento de otras plantas cuando se usa como parte del medio de cultivo o sustrato, por lo que, a nivel bioquímico, presenta características especiales para ser usada como regulador del crecimiento vegetal.

Tabla 2.

Componentes químicos de la planta de Aloe vera

Composición	Compuestos
Antraquinonas	Ácido aloético, antranol, ácido cinámico, barbaloína, ácido crisofánico, emodina, aloe-emodin, éster de ácido cinámico, aloína, isobarbaloína, antraceno, resistanol
Vitaminas	Ácido fólico, vitamina B1, colina, vitamina B2, vitamina C, vitamina B3, Vitamina B6, betacaroteno
Minerales	Calcio, magnesio, potasio, zinc, sodio, cobre, hierro, manganeso, fósforo, cromo
Carbohidratos	Celulosa, galactosa, glucosa, xilosa, manosa, arabinosa, aldopentosa, glucomanosa, frcutuosa, acemanano, sustancias pépticas. L-ramnosa
Enzimas	Amilasa, ciclooxidasa, caboxipeptidasa, lipasa, bradikinasa, catalasa, oxidasa, fosfatasa alcalina, ciclooxigenasa, superóxido dismutasa
Lípidos y compuestos orgánicos	Esteroides (campestrol, colesterol, beta-sitoesterol), ácido salicílico, sorbato de potasio, triglicéridos, lignina, ácido úrico, saponinas, giberelinas, triterpenos, acido abscísico, ácido indol acético
Aminoácidos	Alanina, ácido aspártico, arginina, ácido glutámico, glicina histidina, isoleucina, lisina, metionina, fenilalanina, prolina, tirosina, treonina, valina

Fuente: (Domínguez et al., 2012; Sherif, 2017)

En el año 2017, *Sherif* realiza un estudio del efecto del extracto de hojas de gel de *Aloe vera* en cultivos *In vitro* de la planta *Populus tremula* L., en el que corrobora lo estudiado por Domínguez et al. (2012) en cuanto a la composición del *Aloe vera*, logrando la recuperación de explantes altamente proliferantes de manera exitosa, además, resalta el estudio de Nandi, Palni y Parker (1990), en el que por medio de la técnica de Radioinmunoensayo (RIA) (, se logra cuantificar la composición mineral y fitohormonal del gel de *Aloe vera*, el cual presenta un alto potencial para promover el crecimiento de raíces, alargamiento de segmentos nodales y control de la dormancia de semillas, dada la presencia de las fitohormonas GA3 (ácido giberélico 3), IAA (ácido indolacético) y ABA (ácido abscísico) y varios nutrientes vegetales.

Un estudio preliminar realizado por Alcántara (2018), mostraron el efecto del extracto etanólico del gel de *Aloe vera* de manera *In vitro* en cultivo de tejidos vegetales. En este estudio se tomaron cinco segmentos nodales de *Witheringia coccoloboides* (Dammer) Hunz. y se sembraron en medio Murashige y Skoog (MS), suplementado con el extracto etanólico del gel

de *Aloe vera*. Como control se tomaron otros cinco segmentos de *Witheringia coccoloboides* en medio MS sin *Aloe vera*. En la **figura 2,** se demuestra el alto potencial de este extracto para mejorar el crecimiento de especies vegetales y su efecto potenciador del crecimiento radicular, apical, meristemático y a nivel de brotes.

Por medio de la técnica de organogénesis directa en medio MS suplementado con extracto del gel de *Aloe vera,* en los tejidos vegetales de la planta *Witheringia coccoloboides* se observó crecimiento de hojas y la presencia de tejido meristemático en hojas por el efecto del extracto (A), también se observó presencia de tejido meristemático proliferante sobre las hojas (B). Después de tres semanas se observó una recuperación y regeneración ocasionada por el efecto del *Aloe* (D). Finalmente se observó una proliferación de sistema radicular como consecuencia del efecto directo del extracto de *Aloe vera* sobre el segmento nodal de *Witheringia coccoloboides* (E). En los controles sin fitohormonas no logra apreciarse una regeneración del tejido y se observa un blanqueamiento como consecuencia del proceso de desinfección luego de siete días de cultivo (C y F). Todos los explantes se sembraron bajo el mismo protocolo de desinfección.

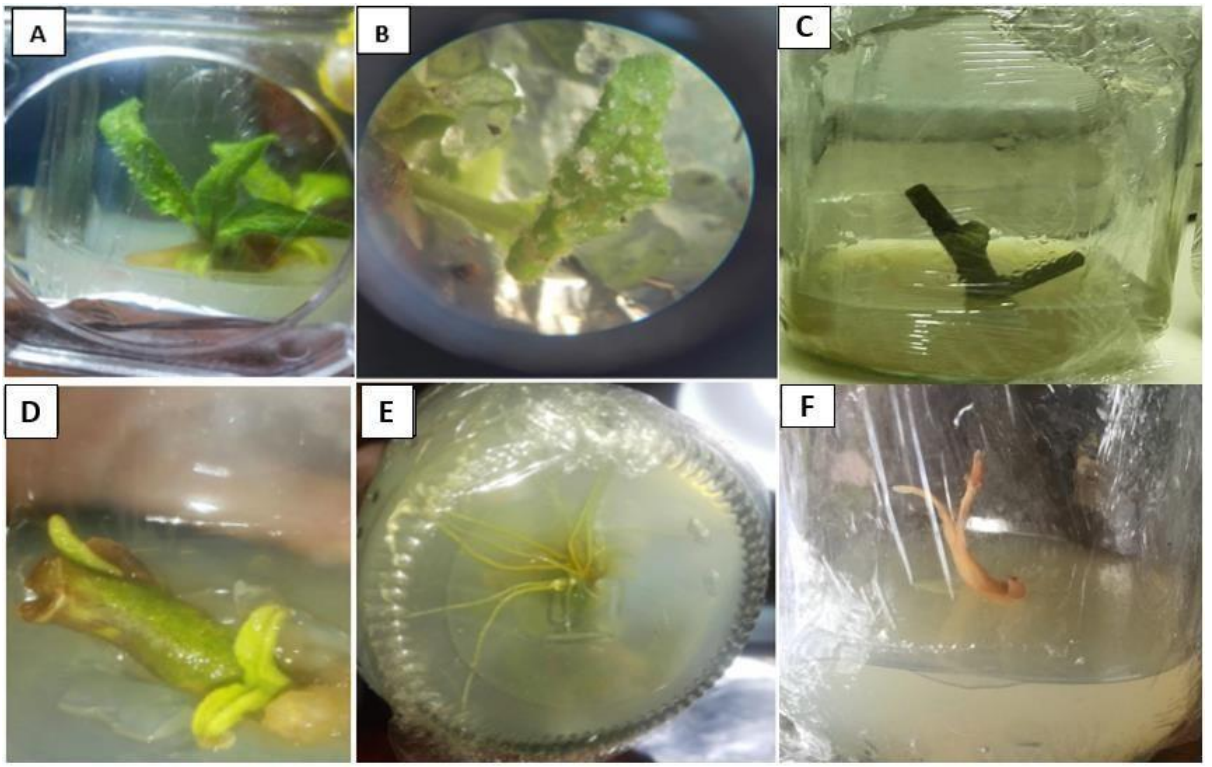


Figura 2. *Cultivo de tejidos vegetales de Witheringia coccoloboides A) Crecimiento de hojas y la presencia de tejido meristemático. B) Tejido meristemático proliferante sobre las hojas. C) Control medio MS sin fitohormonas (inicio del cultivo) D) Recuperación y regeneración. E) Proliferación de sistema radicular. F) Control medio MS sin fitohormonas (siete días después).* Elaboración propia, a partir de (Alcántara Cortés, 2018).

Miel de abeja

La miel de abeja, naturalmente producida por la especie *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 es una de las sustancias más comunes en la naturaleza. Es definida como una solución pegajosa y viscosa que resulta de la mezcla de ciertos compuestos naturales y que, principalmente, presenta diferentes tipos de carbohidratos (glucosa y fructosa, principalmente), proteínas, aminoácidos, enzimas, vitaminas y algunos antioxidantes fenólicos (Asaduzzaman et al., 2015). Su síntesis deriva de sustancias resultantes del metabolismo vegetal, como lo puede ser el néctar o algunos órganos vegetales, pero también puede ser producida a partir de secreciones de residuos de algunos insectos fitopatógenos (Buba, Gidado y Shugaba, 2012). Como

regulador del crecimiento vegetal, un estudio Firth Candace, et al realizado por la Universidad de Hawai en el 2014 demostró su alto potencial para ser promotor de raíces adventicias cuando se aplicaba en cortes de plantas de manera *Ex vitro*, logrando comprobar que los compuestos que presenta, no solo protegen el ambiente rizosférico de ataques por bacterias y hongos fitopatógenos, sino que, además de ello, también puede favorecer el crecimiento de raíces dada las altas cantidades y variedades de azúcares que presenta esta sustancia; siendo una alternativa viable comparado con otro tipo de enraizantes comerciales sintéticos (Firth y Trask, 2017). Estudios realizados recientemente han demostrado el potencial que puede tener la miel de abeja para mejorar el crecimiento de brotes y raíces (Jamal, Rakibuzzaman, Raisa, Maliha y Husna, 2020). Para el año 2020 se comparó el uso de fitohormonas sintéticas frente al efecto de algunos extractos vegetales de plantas como el *Aloe vera*, canela en polvo y miel de abeja, encontrando que los extractos de *Aloe vera* y miel pura, en medios de cultivo *Ex vitro* podían presentar crecimiento de brotes y raíces similares al uso de fitohormonas como AIA y AIB (Jamal et al., 2020).

Extracto de agua de lentejas

Las lentejas (*Lens* spp.) son un tipo de leguminosa originaria de los países del suroeste de Asia que usualmente son utilizadas en la industria como fuente de alimento para el ser humano. Naturalmente es una planta que presenta una anatomía desordenada, con hojas pinnadas terminadas en zarcillos y que presenta una gran cantidad de semillas (Fedna, 2010). Desde la fisiología vegetal, el desarrollo de las semillas de lentejas se realiza de manera natural en una gran cantidad de agua y pueden generar residuos orgánicos y fitohormonas provenientes del metabolismo celular que requieren para su posterior crecimiento (Cajamarca, 2016). La fabricación y liberación de fitohormonas por parte de las semillas de esta planta en el medio, la hacen útil para ser empleada como enraizante, además de su alto contenido en macro y micronutrientes vegetales, vitaminas, aminoácidos y antioxidantes, lo que puede ser esencial para sustentar las necesidades mínimas que requieren las plantas a nivel nutricional (Zou, Chang, Gu y Qian, 2011). Estudios realizados por Cajamarca (2016) demostraron la eficacia de la propagación de semillas de cacao tipo exportación usando extractos de agua de lentejas y de agua de coco, comprobando la eficacia de estas dos sustancias para ser usadas en el crecimiento de plantas de manera *Ex vitro*.

Agua de coco

El coco (*Cocos nucifera* L.) es una de las especies de árboles más importantes a nivel del trópico, principalmente debido a que su fruto contiene un alto valor nutricional, ya que se sabe que contiene una gran cantidad de células dentro de su endospermo que tiene la capacidad de producir compuestos orgánicos que, generalmente, están constituidos por diferentes vitaminas, macronutrientes, micronutrientes, enzimas y fitohormonas que pueden ser empleadas tanto a nivel industrial como a nivel biotecnológico (Yong, Ge, Ng y Tan, 2009).

El agua de coco, dentro del fruto, se encarga de conservar y de almacenar diferentes sustancias, ya que ayuda a mantener el control de procesos vegetales de conservación y maduración del fruto. Por lo anterior, desde la biotecnología, su aplicación de manera *in vitro* ha permitido evidenciar el desarrollo celular, a tal punto de ser empleado en investigaciones como sustituto del uso convencional de citoquininas para el crecimiento de brotes axilares, principalmente, debido a su alto contenido de AIA, AIB, giberelinas y citoquininas (como la zeatina) (Boase, Wright y McLeay, 1993; Cajamarca, 2016; Sridhar y Aswath, 2014).

Existen otros tipos de fuentes metabólicas orgánicas con capacidad de mejorar el crecimiento vegetal, por ejemplo, los microorganismos del suelo han demostrado presentar características directas e indirectas que pueden utilizarse para aumentar la proliferación de tejidos vegetales en cultivos realizados por técnicas de propagación *In vitro* y *Ex vitro* (Benjumeda, 2017; Naziya, Murali y Amruthesh, 2020). Su aplicación y los diversos mecanismos que presentan para preservar el crecimiento de las plantas han ocasionado que sean denominados como “microorganismos bioestimulantes”, por lo que presentan estrategias que involucran otro tipo de procesos además de la producción fitohormonal para mejorar el crecimiento vegetal (Calvo et al., 2014; Naziya et al., 2020).

Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal

La producción de fitohormonas también suele darse de forma natural por los procesos simbióticos o parasitarios que ocurren en el suelo rizosférico o en la biosfera vegetal, debido a las interacciones que ocurren entre las poblaciones microbianas del suelo y el exudado que las raíces generan (Cubillos, Valero y Mejía, 2009; Pini, Galardini, Bazzicalupo y Mengoni,

2011; Poupin, Timmermann, Vega, Zuñiga y González, 2013); además, estos procesos también estimulan la capacidad que poseen algunos microorganismos para sintetizar, de manera indirecta, sustancias de origen microbiológico como metabolitos secundarios, que pueden tener potencial fitohormonal, protector y nutricional, que las plantas pueden utilizar para beneficiar su maduración y desarrollo (Moreno, García, Reyes, Vásquez y Cano, 2018; Sivasankari, 2014).

Algunas bacterias y hongos, como organismos pertenecientes a la biosfera vegetal, además de producir sustancias idóneas para mejorar la constitución y crecimiento de los órganos radiculares (fitohormonas), también pueden generar otras sustancias (antimicrobianos, sideróforos, etc.), así como aumentar la producción de compuestos orgánicos, además de las auxinas, tales como las citoquininas, poliaminas, giberelinas y otras fitohormonas competentes para mejorar el desarrollo y diferenciación de distintos órganos vegetales (Bílkay et al., 2010; Deolankar, Chakarborthy, Kamarudheen y Bhaskara, 2015).

Ensayos *In vitro* con inóculos de bacterias, como fuente metabólica fitohormonal, han demostrado la promoción del crecimiento celular en algunos cultivos de callo o de células meristemáticas (Prasad y Babu, 2016; Somers, Ptacek, Gysegom, Srinivasan y Vanderleyden, 2004), por lo que la aplicación de estos inóculos podría disminuir drásticamente los costos que se presentan al momento de implementar diversos procesos biotecnológicos vegetales y mejorar la calidad del proceso de producción masiva de plantas (tecnología sustentable) que se desee estudiar (Garro, 2016; Mcdougall, 2011; Meena, Mishra, Bisht y Pattanayak, 2017). Las sustancias fitohormonales tendrán un rol importante sobre las especies vegetales, ya que pueden presentar varios efectos sobre el crecimiento y regulación celular (Smith et al., 2017). El uso de estos microorganismos puede aplicarse en el cultivo celular vegetal como fuente metabólica nutricional.

Se conocen en la actualidad dos clasificaciones de bacterias capaces de promover el crecimiento vegetal: PGPB (Plant Growth Promotional Bacteria) que no forman parte del ambiente rizosférico y PGPR (Plant Growth Promotional Rizobacteria) que hacen parte del ambiente rizosférico (Junior et al., 2015; Vega, Canchignia, González y Seeger, 2016b). Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal generalmente presentan siete características

claves que pueden caracterizase y que permiten aumentar el crecimiento vegetal: Fijación de nitrógeno atmosférico, solubilización de fosfatos, producción de fitohormonas (directas), producción de sideróforos, producción de enzimas líticas (quitinasas, glucanasas), producción de antibióticos y producción de HCN (acido cianhídrico) o amónico (indirectas) (Benjumeda, 2017). En la **tabla 3** se describen algunas de las bacterias promotoras del crecimiento más comunes, los metabolitos producidos y sus aplicaciones en biotecnología para el crecimiento vegetal.

Tabla 3.

Bacterias Promotoras del crecimiento vegetal y sus aplicaciones en biotecnología vegetal

Género	PGPB y sus aplicaciones en biotecnología	Referencias
***Bacillus* spp.**	Producción de diversos metabolitos secundarios (fitohormonas, ácidos orgánicos, sideróforos, etc.) Producción de AIA cuando se encuentran dentro del ambiente rizosférico para mejorar crecimiento de cultivos. Inhibe bacterias patógenas por quelación de hierro (sideróforos). Fijación de macro y micronutrientes (P, K, N, B, Cu, etc.), producción de citoquininas para mejorar el desarrollo de brotes axilares y raíces. Producción de giberelinas *In vitro* y *Ex vitro*. Bacteria enraizante y bioestimulante. Usada para extracción de proteínas para inducción de respuesta sistémica inducida.	(Ishak et al., 2016; Junior et al., 2015; Kesaulya, Hasinu, y Tuhumury, 2018; Yu, Yu, Fan, Wang, y Liu, 2016)
***Pseudomonas* spp.**	Participan de la interacción metabólica vegetal en la rizosfera. Suele aprovechar los desechos generados por las plantas para producir compuestos. Tiene la habilidad de suprimir una gran cantidad de enfermedades radiculares ocasionadas por microorganismos fúngicos patógenos, gracias a la producción de cianuro de hidrógeno (HCN), pioluteorina, fenazinas, pirrolonitrina, sideróforos y 2,4-diacetilfloroglucinol. posee la habilidad de promocionar el crecimiento del sistema radicular primario, lateral y adventicio gracias a la producción de familias fitohormonales (AIA). Capacidades biorremediadores y bioestimulantes.	(Duca, Rose y Glick, 2018; Hernández-León et al., 2015; Uzair et al., 2018)
***Azospirillum* spp.**	Puede ayudar a la fijación de nitrógeno atmosférico. Involucrada en la producción de fitohormonas. Tienen la capacidad de producir AIA, giberelinas, poliaminas y pueden inhibir la síntesis de etileno (promoción el crecimiento vegetal). Puede aumentar la elongación de la raíz, el desarrollo de raíces adventicias y laterales, además de inducir la ramificación de pelos radiculares.	(Bashan y De-Bashan, 2010; Lara et al., 2011)
***Burkholderia* spp.**	Puede incrementar las adaptaciones a cambios de estrés ambiental y mejorar el crecimiento de los sistemas radiculares (aumento de longitud), tiene la capacidad de inducir la sobreproducción de raíces laterales y cabellos radiculares, además, genera una mayor concentración de componentes fenólicos a nivel vegetal e induce la producción de un alto nivel de citoquininas en plantas. interviene en la habilidad de fijación de nitrógeno, aumenta la solubilización de fosfatos en el medio, genera ciertos sideróforos, contribuye a inducir resistencia a enfermedades y patógenos (especialmente hongos) y, por último, produce fitohormonas (auxinas). Bacteria con función en biocontrol y Bioestimulante.	(Bolívar-Anillo, Contreras-Zentella, y Teherán-Sierra, 2016; Castanheira et al., 2016; Poupin et al., 2013)
***Klebsiella* spp.**	Tienen la capacidad de aumentar la fijación de nitrógeno, producir compuestos indólicos como el AIA, solubilizar fosfatos, generar sideróforos, inhibir la producción de etileno a partir del uso de enzimas, entre otras propiedades a nivel de la raíz. Puede ser utilizada para inocular cultivos y promocionar el crecimiento vegetal. Usada para la producción de compuesto fihormonales *In vitro*. Uso de transgénicos de *K. oxytoca* para mejoramiento de cultivos *In vivo* y fitomejoramiento	(De Souza, Ambrosini, y Passaglia, 2015; Jasim, John Jimtha, Jyothis, y Radhakrishnan, 2013; Shi et al., 2017; Sivasankari.B, 2014; Wu, Peng, Guo, y Li, 2014)

Fuente: Elaboración propia

La obtención de enraizantes producidos por bacterias en forma de auxinas a partir del metabolismo bacteriano (**figura 3**) ha generado el aumento de la investigación de géneros y especies que puedan ser inoculados o aislados para la producción de dichos metabolitos; con el fin de mejorar los procesos de inducción de raíz necesarios para la propagación asexual de especies vegetales de manera convencional, por lo que dos de las bacterias con mayores contribuciones a este fin se nombran a continuación: *Lactobacillus acidophillus* utiliza la vía del indol-3-piruvato para la producción de AIA, mientras que *Agrobacterium tumefaciens* utiliza la vía del indol-3-acetamida. Una genera daño y la otra beneficios para la planta (Pratheesh, Shonima, Thomas, Abraham y Muraleedhara, 2012; Vega et al., 2016b).

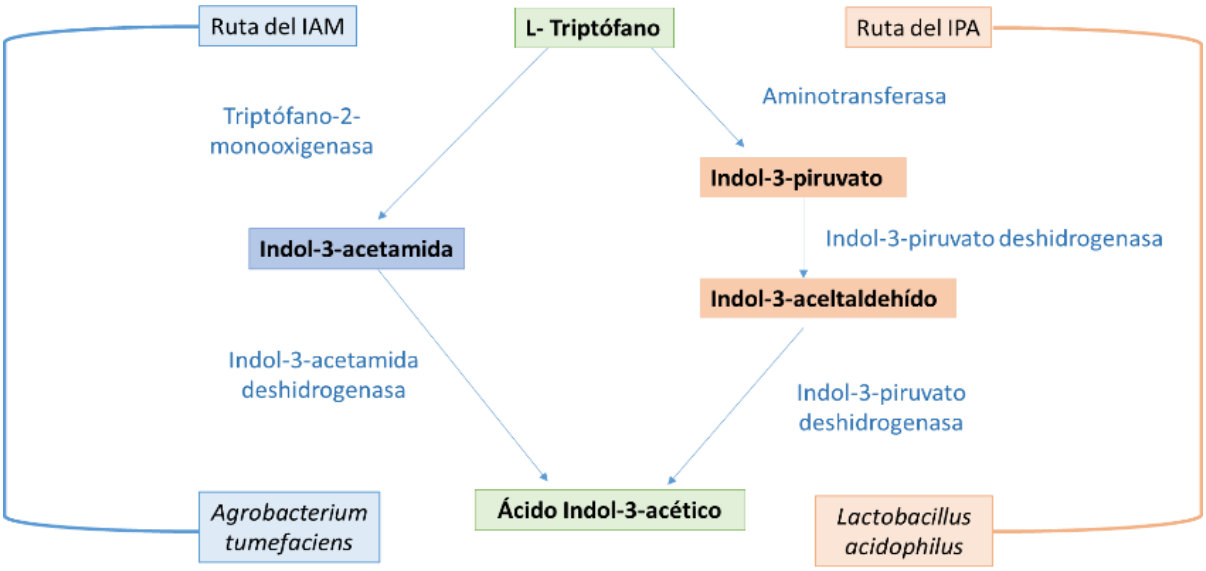


Figura 3. Rutas metabólicas más convencionales para la producción de ácido indol acético en bacterias promotoras del crecimiento vegetal (*Lactobacillus acidophilus*) y bacterias patógenas (*Agrobacterium tumefaciens*). Fuente: Elaboración propia a partir de información de Alcántara (2020)

Microorganismos Bioestimulantes y sus aplicaciones biotecnológicas

Definidos generalmente como la aplicación de organismos capaces de regular y de controlar de manera natural los procesos vegetales, los "bioestimulantes" son considerados como todo tipo de microorganismos que al ser inoculados en un medio de cultivo natural o

sintético tienen la capacidad de ser promotores del crecimiento vegetal (PGR por sus siglas en inglés), los cuales presentan más de una propiedad que los categorice como PGR y que pueden beneficiar el crecimiento vegetal de manera directa o indirecta (Calvo et al., 2014). Muchas especies de bacterias como las enterobacterias que están presentes en el ambiente, son capaces de producir, de manera simbiótica o patógena, sustancias que pueden interferir en el crecimiento de los organismos vegetales, ya que estas son capaces de crear fitohormonas que pueden modificar el desarrollo de las células de manera convencional en el medio. La introducción de otras ciencias como la proteómica, metabolómica y metagenómica, dentro de las que se incluye la edición de genes por técnicas como CRISPR-Cas y su uso en microorganismos han permitido el mejoramiento de las especies vegetales en temáticas como el desarrollo vegetal y la inducción de genes de resistencia, así como también el control del metabolismo para la producción de metabolitos específicos (Calvo et al., 2014; Ding, Zhang y Shi, 2020; Galindo, Peña y Serrano, 2014; Liu, Wu, Xu, Sui y Wei, 2017).

Otra de las aplicaciones biotecnológicas, se puede ver en el uso de biorreactores para el aislamiento de metabolitos secundarios bacterianos para mejorar la producción natural de fitohormonas (Galindo et al., 2014). Este proceso ha permitido una forma más eficiente y económica de aislar y purificar sustancias capaces de aumentar la promoción del crecimiento vegetal (auxinas y giberelinas), para su posterior uso en procesos de cultivo agrícolas (Galindo et al., 2014; Mohite, 2013). Otra aplicación incluye el estudio del metabolismo vegetal y las rutas de producción de metabolitos con potencial fitohormonal como forma de búsqueda de nuevas alternativas con el objetivo de reemplazar reguladores de crecimiento sintéticos que comienzan a presentar una baja sostenibilidad y han empezado a considerarse como una limitación para la aplicación de otros procesos biotecnológicos (Galindo et al., 2014; Mohite, 2013). La posibilidad de poder obtener auxinas, giberelinas, citoquininas, etileno, ácido abscísico y otros reguladores de crecimiento vegetal a partir del metabolismo bacteriano, han permitido el estudio de la interacción natural en el ambiente rizosférico de estos biosinsumos con las especies vegetales, con la finalidad de mejorar los procesos biotecnológicos de manera *In vitro* y *Ex vitro* (Castrillón, Carvajal, Ligarreto y Magnitskiy, 2008; Lara et al., 2011).

Conclusiones

Diversas sustancias que son capaces de regular el proceso de crecimiento celular (fitohormonas, antibióticos, sideróforos) han demostrado el alto potencial que poseen para su aplicación en los procesos de biotecnología vegetal. Esta disciplina suele ser bastante dispendiosa de implementar, debido a los múltiples procesos que se requieren para la obtención de los reguladores de crecimiento convencionales (de carácter sintético); por lo que, la puesta en marcha de nuevas metodologías que reduzcan y contribuyan al desarrollo de la siembra de tejidos vegetales de manera *In vitro*, o el cultivo asexual a nivel *Ex vitro*, se ha convertido en una de las mayores preocupaciones.

Puede verse con este estudio que existe una gran variedad de metabolitos con potencial fitohormonal encontrados gracias al análisis del metabolismo primario y/o secundario de organismos superiores (plantas) y microorganismos, por lo que se sugiere realizar más estudios que permitan determinar nuevas formas de aislar fitohormonas, a partir de la aplicación de extractos que aumenten el crecimiento vegetal; así como también es recomendable incrementar la aplicación de compuestos provenientes de plantas como el *Aloe vera*, el agua de coco, el extracto de agua de lentejas o el uso de derivados vegetales como la miel. Estos compuestos han demostrado ser lo suficientemente capaces para reemplazar a los reguladores convencionales y efectuar una correcta promoción del crecimiento vegetal, siendo el *Aloe vera* uno de los candidatos más prometedores, ya que es el que mejor recuperación y crecimiento presenta a comparación de las otras fuentes propuestas. Por otro lado, desde el recurso y aplicación microbiológica, el uso de diferentes géneros bacterianos inoculados como bioestimulantes o como fuente de obtención de sustancias promotoras del crecimiento vegetal, puede contribuir a la búsqueda de nuevos bioinsumos, que, de manera natural, puedan aplicarse a cultivos convencionales y pueden igualar o incluso mejorar la acción de los reguladores de crecimiento vegetal a un menor costo.

El uso de herramientas moleculares capaces de controlar el metabolismo y aplicación de organismos microbianos o vegetales de manera *In vitro* y *Ex vitro* contribuye a mejorar la calidad vegetal y el tiempo que puede requerir la implementación de un proyecto productivo biotecnológico. Finalmente, algunas de las alternativas presentadas en este artículo favorecen la búsqueda de otras fuentes fitohormonales orgánicas y metabolitos con capacidad de

aplicación en medios de cultivo, mejorando el tiempo de producción y la protección frente agentes patógenos, gracias a su acción indirecta.

Referencias

Alcántara, J. (2018). *Evaluación de la Propagación In vitro de Witheringia coccoloboides suplementada con productos orgánicos. Manuscrito no publicado*. Bogotá D.C: Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, Facultad de Ciencias de la Salud.

Asaduzzaman, M., Rahman, M., Munira, S., Rahman, M., Islam, M., Hasan, M., Islam, M. (2015). Analysis of Biochemical Composition of Honey and its Anti-Oxidant, Phytochemical and Anti-Bacterial Properties. *Biomedical and Pharmaceutical Research*, *4*(4), 69-81. Recuperado de http://www.academia.edu/15224880/Analysis_of_Biochemical_Composition_of_Honey_and_its_Anti-Oxidant_Phytochemical_and_Anti-Bacterial_Properties

Bashan, Y., y De-Bashan, L. (2010). How the plant growth-promoting bacterium azospirillum promotes plant growth-a critical assessment. *Advances in Agronomy*, *108*(C), 77-136. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08002-8

Benjumeda, D. (2017). *Bacterias promotoras del crecimiento vegetal: Mecanismos y aplicaciones*. Universidad de Sevilla, Facultad de Farmacia.

Bílkay, I., Karakoç, Ş., y Aksöz, N. (2010). Indole-3-acetic acid and gibberellic acid production in Aspergillus niger. *Turk J Biol*, *34*, 313-318. https://doi.org/10.3906/biy-0812-15

Boase, M., Wright, S., y McLeay, P. (1993). Coconut milk enhancement of axillary shoot growth in vitro of kiwifruit. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, *21*(2), 171-176. https://doi.org/10.1080/01140671.1993.9513764

Bolívar, H, Contreras, M., y Teherán, L. (2016). Burkholderia tropica Una Bacteria Con Gran Potencial Para Su Uso en la Agricultura. *Tip*, *19*(2), 102-108. https://doi.org/10.1016/j.recqb.2016.06.003

Buba, F., Gidado, A., y Shugaba, A. (2012). Analysis of Biochemical Composition of Honey Samples from North-East Nigeria. *Biochemistry & Analytical Biochemistry*, *2*(3), 1-7.

https://doi.org/10.4172/2161-1009.1000139

Cajamarca, E. (2016). *Determinación De La Eficiencia De Hormonas En La Propagación Por Ramillas De Cacao Tipo Nacional* (Universidad Técnica de Machala). Universidad Técnica de Machala. Recuperado de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/7645/1/DE00036_TRABAJODETITULACION.pdf

Calvo, P., Nelson, L., y Kloepper, J. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, *383*(1-2), 3-41. https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8

Castanheira, N., Dourado, A., Kruz, S., Alves, P., Delgado, A., Pais, I., y Fareleira, P. (2016). Plant growth-promoting Burkholderia species isolated from annual ryegrass in Portuguese soils. *Journal of Applied Microbiology*, *120*(3), 724-739. https://doi.org/10.1111/jam.13025

Castrillón, J., Carvajal, E., Ligarreto, G., y Magnitskiy, S. (2008). El efecto de auxinas sobre el enraizamiento de las estacas de agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) en diferentes sustratos. *Agronomia Colombiana*, *26*(1), 16-22. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-99652008000100003&script=sci_abstract&tlng=es

Cruz, M., Melgarejo, L., y Romero, M. (2012). Fitohormonas. En *Experimentos en fisiología y bioquímica vegetal*, *Universidad Nacional de Colombia,* (24), 1-277. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/8545/9/05_Cap03.pdf

Cubillos, J., Valero, N., y Mejía, L. (2009). *Trichoderma harzianum* como promotor del crecimiento vegetal del maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* Degener). *Agronomía Colombiana*, *27*(1), 81-86. Recuperado de http://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/11363/37730

De Souza, R., Ambrosini, A., y Passaglia, L. (2015). Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and Molecular Biology*, *38*(4), 401-419. https://doi.org/10.1590/S1415-475738420150053

Deolankar, S., Chakarborthy, I., Kamarudheen, N., y Bhaskara, K. (2015). Evaluation of plant growth promoting activity of rhizosphere bacteria of different crop plants. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, *6*(4), 683-689. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/281437646_Evaluation_of_Plant_Growth_Promoting_Activity_of_Rhizosphere_Bacteria_of_Different_Crop_Plants

Dey, N., Sarkar, S., Acharya, S., y Maiti, I. (2015). Synthetic promoters in planta. *Planta*, *242*(5), 1077-1094. https://doi.org/10.1007/s00425-015-2377-2

Ding, W., Zhang, Y., y Shi, S. (2020). Development and Application of CRISPR/Cas in Microbial Biotechnology. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *8*, 1-22. https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00711

Domínguez, R., Arzate, I., Chanona, J., Welti, J., Alvarado, J., Garibay, V., y Gutiérrez, G. (2012). El gel de *Aloe vera*: Estructura, composición química, procesameinto, actividad biológica e importancia en la industria farmacéutica y alimentaria. *Revista Mexicana de Ingeniera Qumica*, *11*(1), 23-43. https://doi.org/10.1186/1471-2334-1-7

Duca, D., Rose, D., y Glick, B. (2018). Indole acetic acid overproduction transformants of the rhizobacterium *Pseudomonas* sp. UW4. *Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology*, 1-16. https://doi.org/10.1007/s10482-018-1051-7

Erb, M., y Kliebenstein, D. (2020). Plant Secondary Metabolites as Defenses, Regulators, and Primary Metabolites: The Blurred Functional Trichotomy. *Plant Physiology*, *184*(1), 39-52. https://doi.org/10.1104/PP.20.00433

Fazilati, M., y Forghani, A. (2015). *The role of polyamine to increasing growth of plant : As a key factor in health crisis*. *3*(2), 89-94. https://doi.org/10.4103/2347-9019.151316

Fedna. (2010). Lentejas (Lentils *Lens esculenta* Planta). *Fedna*, 221-222. https://doi.org/10.1111/1750-3841.13915

Filová, A. (2014). Production of Secondary Metabolities In Plant Tissue Cultures. *Research*

Journal of Agricultural Science, *46*(1), 236-246. https://doi.org/10.3891/acta.chem.scand.16-0843

Finkelstein, R. (2013). Abscisic Acid Synthesis and Response. *The Arabidopsis Book*, *1*, 1-36. https://doi.org/10.1199/tab.0166

Firth, C., y Trask, A. (2017). Honey as an alternative rooting stimulant for cuttings. *University of Hawai*, 1-5. Recuperado de https://www.ctahr.hawaii.edu/uhmg/news/V21-honey-rooting-Firth.pdf

Flasiński, M., y Hac, K. (2014a). Natural vs synthetic auxin: Studies on the interactions between plant hormones and biological membrane lipids. *Environmental Research*, *133*, 123-134. https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.05.019

Flasiński, M., y Hac, K. (2014b). Natural vs synthetic auxin: Studies on the interactions between plant hormones and biological membrane lipids. *Environmental Research*, *133*, 123-134. https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.05.019

Freeman, S. (2009). *Biología. Freeman - 3ra edición* (Tercera Ed.). Madrid.

Galindo, E., Peña, C., y Serrano-Carreón, L. (2014). Domesticar microorganismos en un biorreactor: los retos del bioingeniero. En Aspectos de Ingeniería en fermentaciones: cómo mezclar gases, líquidos y sólidos (pp. 131–143). Academia Mexicana de Ciencias.

Garay, A., de la Paz Sánchez, M., García, B., Álvarez, E., y Gutiérrez, C. (2014). La Homeostasis de las Auxinas y su Importancia en el Desarrollo de *Arabidopsis thaliana*. *REB. Revista de educación bioquímica*, *33*(1), 13-22. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-19952014000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Garro, G. (2016). Crop and food development through modern biotechnology techniques in Central America Development of food crops through the use of modern biotechnology techniques in Central America. *Revista Tecnología en Marcha*, *29*(5), 54. https://doi.org/10.18845/tm.v29i5.2517

George, E., Hall, M., y Klerk, De. (2008a). Plant Growth Regulators II : Cytokinins , their

Analogues and Antagonists, Plant propagation by tissue culture. En *Plant Propagation by Tissue Culture 3rd Edition*, 205-226. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5005-3_6

George, E., Hall, M. A., y Klerk, De. (2008b). Plant propagation by tissue culture 3rd edition. En *Plant Propagation by Tissue Culture*, *3*(1). https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5005-3

Giraldo C., Ríos O., H., y Polanco, M. (2009). Efecto de dos enraizadores en tres especies forestales promisorias para la recuperación de suelos. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, *1*(1), 41. https://doi.org/10.22490/21456453.889

Gupta, R., y Chakrabarty, S. (2013). Gibberellic acid in plant: Still a mystery unresolved. *Plant Signaling and Behavior*, *8*(9). https://doi.org/10.4161/psb.25504

Hernández, R., Rojas, D., Contreras, M., Orozco, M., Macías, L., Reyes, H.,Santoyo, G. (2015). Characterization of the antifungal and plant growth-promoting effects of diffusible and volatile organic compounds produced by *Pseudomonas fluorescens* strains. *Biological Control*, *81*, 83-92. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.11.011

Hernández, E., y Martínez, I. (2016). Brasinoesteroides en la agricultura. I. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *7*(2), 441-450.

Hosny, S. M., Hammad, G., Sharbasy, S., y Zayed, Z. (2016). Effect of Coconut Milk, Casein Hydrolysate and Yeast Extract on the Proliferation of in vitro Barhi Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*, *8*(1), 46-54. https://doi.org/10.5829/idosi.jhsop.2016.8.1.1172

Hussain, A., Ahmed, I., Nazir, H., y Ullah, I. (2012). Recent Advances in Plant in vitro Culture. En Annarita_Leva. DOI: 10.5772/52760

Imran, Q., y Yun, B. (2020). Pathogen-induced Defense Strategies in Plants. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, *23*(2), 97-105. https://doi.org/10.1007/s12892-019-0352-0

Ishak, Z., Iswadi, M., Russman, A., Ahmad, M., Ernie, R., Wan, A., y Ainon, H. (2016). Plant growth hormones produced by endophytic Bacillus subtilis strain LKM-BK isolated from cocoa. *Malaysian Cocoa Journal*, *9*(1), 127-133. Recuperado de

https://www.researchgate.net/publication/312495410_PLANT_GROWTH_HORMONES_PRODUCED_BY_ENDOPHYTIC_Bacillus_subtilis_STRAIN_LKM-BK_ISOLATED_FROM_COCOA

Jamal, A., Rakibuzzaman, M., Raisa, I., Maliha, M., y Husna, M. (2020). Impact of natural substances and synthetic hormone on grapevine cutting. *Journal of Bioscience and Agriculture Research*, *25*(1), 2069-2074. https://doi.org/10.18801/jbar.250120.253

Jang, S., y Kuk, Y. (2019). Growth promotion effects of plant extracts on various leafy vegetable crops. *Horticultural Science and Technology*, *37*(3), 322-336. https://doi.org/10.7235/HORT.20190033

Jasim, B., John, C., Jyothis, M., y Radhakrishnan, E. (2013). Plant growth promoting potential of endophytic bacteria isolated from *Piper nigrum*. *Plant Growth Regulation*, *71*(1), 1-11. https://doi.org/10.1007/s10725-013-9802-y

Junior, A., Oliviera, A., Oliviera, L., Santos, G., Chagas, L., Silva, A., y Costa, J. (2015). Production of Indole-3-Acetic Acid By Bacillus Isolated From Different Soils. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, *21*(2), 282-287. Recuperado de https://www.semanticscholar.org/paper/PRODUCTION-OF-INDOLE-3-ACETIC-ACID-BY-BACILLUS-FROM-Chagas-Chagas/c8ade7126015f4f2f7f7af52c17525eec95248a0

Karnawal, A. (2009). Production of indole acetic acid by fluorescent pseudomonas in the presence of l-tryptophan and rice root exudates. *Journal of Plant Pathology*, *91*(1), 61-63. https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1112950

Kaur, R., Tiburcio, A., Altabella, T., y Galston, A. (2003). Polyamines in plants : An overview. *Journal of Cell and Molecular Biology*, *2*, 1-12. Recuperado de http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.460.7929&rep=rep1&type=pdf

Kesaulya, H., Hasinu, J., y Tuhumury, G. (2018). Potential of *Bacillus* spp. produces siderophores insuppressing thewilt disease of banana plants. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *102*(1). https://doi.org/10.1088/1755-

1315/102/1/012016

Lara, C., Oviedo, L., y Betancur, C. (2011). Bacterias nativas con potencial en la producción de ácido indolacético para mejorar los pastos. *Zootecnia Tropical*, *29*(2), 187-194. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692011000200005

Liu, X., Wu, S., Xu, J., Sui, C., y Wei, J. (2017). Application of CRISPR/Cas9 in plant biology. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, *7*(3), 292-302. https://doi.org/10.1016/j.apsb.2017.01.002

Mansour, F., Aldesuquy, H., y Hamedo, H. (1994). Studies on plant growth regulators and enzyme production by some bacteria. *Qatar University Science Journal*, *14*(2), 281-288. Recuperado de https://qspace.qu.edu.qa/handle/10576/10108

Martins, J., Schimildt, E., Alexandre, R., Santos, B., y Magevski, G. (2013). Effect of synthetic auxins on in vitro and ex vitro bromeliad rooting. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, *43*(2), 138-146. https://doi.org/10.1590/s1983-40632013000200009

Mcdougall, P. (2011). The Cost and Time Involved in the Discovery, Development and Authorisation of a New Plant Biotechnology Derived Trait. Consultancy Study for Crop Life International. *R&D Study*, (September), 1-24. Recuperado de https://croplife.org/wp-content/uploads/2014/04/Getting-a-Biotech-Crop-to-Market-Phillips-McDougall-Study.pdf

Meena, V., Maurya, B., y Verma, J. (2014). Does a rhizospheric microorganism enhance K+availability in agricultural soils? *Microbiological Research*, *169*(5-6), 337-347. https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.003

Meena, V. S., Mishra, P. K., Bisht, J. K., y Pattanayak, A. (2017). Bio-stimulants: An approach towards the sustainable vegetable production. En V. S. Meena, K. Shubha, A. Mukherjee, M. Kumari, K. Tiwari, y V. S. Meena (Eds.), *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture* (Vol. 1, pp. 269–277). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5589-8

Melgarejo, L. (2010). *Experimentos de fisiología vegetal* (Primera Ed). Bogotá DC:

Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de http://bdigital.unal.edu.co/8545/

Mendoza, B. (2013). *Evaluación de la eficacia de cuatro enraizadores y dos tamaños de estacas en la propagación de naranjilla (solanum quitoense) híbrido puyo, en vivero en el cantón san miguel de los bancos, provincia de pichincha.* (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; Vol. 1). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado de http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/2799

Mgbeahuruike, E., Yrjönen, T., Vuorela, H., y Holm, Y. (2017). Bioactive compounds from medicinal plants: Focus on Piper species. *South African Journal of Botany*, *112*, 54-69. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.05.007

Miezah, K., Ofosu, J., Budu, G., Enu, L., y Cofie, O. (2008). Isolation and identification of some plant growth promoting substances in compost and co-compost. *International Journal of Virology*, 4,30-40. https://doi.org/10.3923/ijv.2008.30.40

Mohite, B. (2013). Isolation and characterization of indole acetic acid (IAA) producing bacteria from rhizospheric soil and its effect on plant growth. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *13*(3), 638-649. https://doi.org/10.4067/S0718-95162013005000051

Morales-rubio, M. E., Espinosa-leal, C., y Garza-padrón, R. A. (2016). Cultivo de tejidos vegetales y su aplicación en productos naturales. En C. Rivas- Morales, M. . Oranday-Cardenas, y M. . Verde-Star (Eds.), *Investigación en plantas de importancia médica* (pp. 351–410). Barcelona, España: OminiaSciencie. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3926/oms.315

Moreno, A., García, V., Reyes, J., Vásquez, J., y Cano, P. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana de Biotecnología*, *20*(1), 68-83. https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707

Nandi, S., Palni, L., y Parker, C. (1990). Dynamics of Endogenous Cytokinins during the Growth Cycle of a Hormone-Autotrophic Genetic Tumor Line of Tobacco. *Plant physiology*, *94*(3), 1084-1089. https://doi.org/10.1104/pp.94.3.1084

Naziya, B., Murali, M., y Amruthesh, K. (2020). Plant growth-promoting fungi (Pgpf) instigate plant growth and induce disease resistance in *Capsicum annuum* L. upon infection with *Colletotrichum capsici* (Syd.) Butler & Bisby. *Biomolecules, 10*(41), 1-18. https://doi.org/10.3390/biom10010041

Ndjonka, D., Rapado, L., Silber, A., Liebau, E., y Wrenger, C. (2013). Natural products as a source for treating neglected parasitic diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, *14*(2), 3395-3439. https://doi.org/10.3390/ijms14023395

Okukpe, K., Adeloye, A., Belewu, M., Alii, O., Adeyina, O., y Annongu, A. (2012). Investigation of phytohormonal potential of some selected tropical plants. *Research Journal of Medicinal Plant*, *6*(6), 425-432. https://doi.org/10.3923/rjmp.2012.425.432

Pascolini, P. (2013). *Estimulación del enraizamiento de estacas con extractos de* Salix fragilis, Plantago lanceolata *y* Aloe vera (Universidad Nacional de Río Negro). Universidad Nacional de Río Negro. Recuperado de https://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/501

Patil, V. (2019). Isolation of Indole acetic acid producing bacteria from digester effluent and their effect on plant growth promotion. *International Research Journal of Biological Sciencies*, *8*(1), 1-9. Recuperado de http://www.isca.in/IJBS/Archive/v8/i1/1.ISCA-IRJBS-2018-044.php

Pini, F., Galardini, M., Bazzicalupo, M., y Mengoni, A. (2011). Plant-bacteria association and symbiosis: Are there common genomic traits in alphaproteobacteria? *Genes*, *2*(4), 1017-1032. https://doi.org/10.3390/genes2041017

Poupin, M., Timmermann, T., Vega, A., Zuñiga, A., y González, B. (2013). Effects of the Plant Growth-Promoting Bacterium Burkholderia phytofirmans PsJN throughout the Life Cycle of *Arabidopsis thaliana*. *PLoS ONE*, *8*(7), 22-24. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069435

Prasad, A., y Babu, S. (2016). Compatibility of *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* in growth promotion of groundnut (*Arachis hypogea* L.). *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, *89*(2), 1027-1040. https://doi.org/10.1590/0001-

3765201720160617

Pratheesh, P., Shonima, G., Thomas, J., Abraham, C., y Muraleedhara Kurup, G. (2012). Study on efficacy of different Agrobacterium tumefaciens strains in genetic transformation of microalga *Chlamydomonas reinhardtii*. *Advances in Applied Science Research*, *3*(5), 2679-2686. Recuperado de www.pelagiaresearchlibrary.com

Radice, S. (2010). Biotecnología y Mejoramiento Vegetal II. En G. Levitus, V. Echenique, E. Hopp, y L. Mroginski (Eds.), *Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología* (Segunda). Intituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Roy, S., Asaduzzaman, M., Pramanik, M., y Prodhan, A. (2006). Effect of Banana Plant Extracts on Germination and Seedling Growth of Some Vegetable Crops. *Bangladesh Journal Crop Science*, *17*(1), 235–242.

Sajjad, Y., Jaskani, M., Asif, M., y Qasim, M. (2017). Application of plant growth regulators in ornamental plants: A review. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, *54*(2), 327-333. https://doi.org/10.21162/PAKJAS/17.3659

Salazar, S., Martínez-Montiel, N., Garcí, J., Pérez, R., y Martínez, R. (2018). Gibberellin biosynthesis and metabolism: A convergent route for plants, fungi and bacteria. *Microbiological Research*, *208*, 85-98. https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.01.010

Sherif, F. (2017). Aloe vera Leaf Extract as a Potential Growth Enhancer for populus trees Grown Under in vitro Conditions. *American Journal of Plant Biology*, *2*(4), 101-105. https://doi.org/10.11648/J.AJPB.20170204.11

Shi, T., Peng, H., Zeng, S., Ji, R., Shi, K., Huang, H., y Ji, X. (2017). Microbial production of plant hormones: Opportunities and challenges. *Bioengineered*, *8*(2), 124-128. https://doi.org/10.1080/21655979.2016.1212138

Sivasankari, B., Anandharaj, M., y Daniel, T. (2014). Effect of PGR producing bacterial strains isolated from vermisources on germination and growth of Vigna unguiculata (L.) Walp. *Journal of Biochemical Technology*, *5*(4), 808–813. Recuperado de https://search.proquest.com/openview/d9b652d1bae765d0e190d57d6feccf3b/1?pq-

origsite=gscholar&cbl=4425143

Smith, S. M., Li, C., y Li, J. (2017). Hormone function in plants. En C. Rowley (Ed.), *Hormone Metabolism and Signaling in Plants* (pp. 1–38). Elservier Ltd. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811562-6.00001-3

Somers, E., Ptacek, D., Gysegom, P., Srinivasan, M., y Vanderleyden, J. (2004). *Azospirillum brasilense* produces the auxin-like phenylacetic acid by using the key enzyme for indole-3-acetic acid biosynthesis. *Applied and Environmental Microbiology*, *71*(4), 1803-1810. https://doi.org/10.1128/AEM.71.4.1803

Sridhar, T., y Aswath, C.(2014). Influence of Additives on Enhanced in Vitro Shoot Multiplication of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni. An Important Anti Diabetic Medicinal Plant. *American Journal of Plant Sciences*, *05*(01), 192-199. https://doi.org/10.4236/ajps.2014.51025

Tadeu, J. (2019). Plant growth regulators in horticulture: practices and perspectives. *Biotecnología Vegetal*, *19*(1), 3-14. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2074-86472019000100003&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Uzair, B., Kausar, R., Bano, S., Fatima, S., Badshah, M., Habiba, U., y Fasim, F. (2018). Isolation and Molecular Characterization of a Model Antagonistic Pseudomonas aeruginosa Divulging in Vitro Plant Growth Promoting Characteristics. *BioMed Research International*, *2018*, 1-7. https://doi.org/10.1155/2018/6147380

Vega, P., Canchignia, H., González, M., y Seeger, M. (2016a). Biosynthesis of indole-3-acetic acid and plant growth promoting by bacteria. *Cultivos Tropicales*, *37*(especial), 33-39. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5158.3609

Vega, P., Canchignia, H., González, M., y Seeger, M. (2016b). Review: Biosynthesis of indole-3-acetic acid and plant growth promoting by bacteria. *Cultivos Tropicales*, *37*(especial), 33-39. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5158.3609

Venkatachalam, P., Kalaiarasi, K., y Sreeramanan, S. (2015). Influence of plant growth

regulators (PGRs) and various additives on in vitro plant propagation of Bambusa arundinacea (Retz.) Wild: A recalcitrant bamboo species. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, *13*(2), 193-200. https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2015.09.006

Wani, S., Kumar, V., Shriram, V., y Sah, S. (2016). Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. *Crop Journal*, *4*(3), 162-176. https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.01.010

Wu, Z., Peng, Y., Guo, L., y Li, C. (2014). Root colonization of encapsulated klebsiella oxytoca rs-5 on cotton plants and its promoting growth performance under salinity stress. *European Journal of Soil Biology*, *60*, 81-87. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2013.11.008

Yong, J.., Ge, L., Ng, Y., y Tan, S. (2009). The Chemical Composition and Biological Properties of Coconut (*Cocos nucifera* L.) Water. *Molecules*, *14*(12), 5144-5164. https://doi.org/10.3390/molecules14125144

Yu, J., Yu, Z., Fan, G., Wang, G., y Liu, X. (2016). Isolation and characterization of indole acetic acid producing root endophytic bacteria and their potential for promoting crop growth. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *18*(5), 1381-1391. Recuperado de https://jast.modares.ac.ir/article-23-9488-en.html

Zou, Y., Chang, S., Gu, Y., y Qian, S. (2011). Antioxidant activity and phenolic compositions of lentil (*Lens culinaris* var. *morton*) extract and its fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *59*(6), 2268-2276. https://doi.org/10.1021/jf104640k

Environment & Technology ISSN: 2711 4422
Vol. 2 No. 1 Enero-Junio, 2021: 48-63
URL:https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/
DOI: https://doi.org/10.56205/ret.2-1.3

Suelos supresivos y su papel en el manejo de enfermedades

Suppressive soils and their role in plant disease management

José Alonso Calvo Araya

M.Sc. en Protección Vegetal

Escuela de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Costa Rica

alonso.calvo.araya@una.ac.cr.

[ID]https://orcid.org/0000-0001-7294-6426

Heredia, Costa Rica

Resumen

Los suelos supresivos son una herramienta eficiente en el manejo de enfermedades de origen edáfico, principalmente en agricultura agroecológica donde este tipo de control natural se desarrolla en mayor plenitud. Generalmente, la supresividad está basada en interacciones microbiológicas entre los patógenos y los antagonistas. Dentro de las ventajas de este tipo de control están, reducción en el uso y aplicación de plaguicidas, en la mayoría de patógenos ejerce un buen control, es amigable con otros métodos de manejo de enfermedades. Las interacciones que median la calidad de ser supresivo son dependientes de factores abióticos presentes tales como: niveles de pH, estructura, materia orgánica, contenido de arcilla, temperatura, humedad, responsables en brindar las condiciones óptimas de suprimir a un determinado fitopatógeno. En la siguiente revisión se aborda el concepto de suelos supresivos, tipos de suelos supresores, prácticas culturales y su efecto supresor, efecto de factores abióticos, supresividad a patógenos. Estudios recientes, muestran que la supresividad natural de un suelo puede ser potencializada a través de la implementación de diversas prácticas agronómicas con un enfoque conservacionista tales como mínima labranza, incorporación de enmiendas orgánicas y rotación de cultivos. Por lo tanto, el objetivo de esta revisión es analizar aspectos fundamentales de este tipo de suelos y como estos influyen directa o directamente en el desarrollo de las enfermedades y sanidad en los cultivos.

Palabras clave: Supresividad, patógenos, antagonistas, factores abióticos, conservacionista, prácticas agronómicas.

Abstract

Suppressive soils are an efficient tool in soilborne disease management, especially in agroecological agriculture where this type of natural control is most fully developed. Generally, the suppressivity is based on microbiological interactions between the pathogen and antagonists. Among the advantages of this type of control are, reduction in the use and application of pesticides, in the most cases it gives a good control of pathogens, friendly with other methods of plant disease management. The interactions that mediate the quality of being suppressive are dependent on abiotic factors such as: pH levels, structure, organic matter, clay content, temperature, humidity, all those responsible for providing the optimal conditions of soil suppression to a certain plant pathogen. This review is addressed in concept of suppressive soils, types of suppressive soils, cultural practices and their suppressive effect, effect of abiotic factors, suppressiveness to pathogens. Recent studies show that the mechanisms of natural soil suppressiveness can be potentiated through the implementation of various agronomic practices with a conservationist approach such as minimum tillage, incorporation of organic

Recibido: *24/06/2021*
Revisado: *27/07/2021*
Aprobado: *23/08/2021*

Los artículos de Environment & Technology se comparten con Licencia Creative Commons: CC BY-NC-ND

amendments and crop rotation. Therefore, the objective of this review is to analyze fundamental aspects of soil supressivity and how these directly or directly influence the development of diseases and health in crops.
Key words: Suppressivity, pathogens, antagonistic, abiotic factors, conservation, agronomic practices.

Introducción

El suelo como sistema biótico, es uno de los principales componentes de los agroecosistemas, siendo un recurso esencial para la producción de alimentos, así como el responsable de mantener un balance ecológico. La salud del mismo determina en gran medida la sostenibilidad agrícola y la calidad ambiental (Larkin, 2015).

En los sistemas agrícolas, la capacidad productiva de los suelos se ha visto disminuida producto de una agricultura convencional y basada en paquetes tecnológicos y monocultivos. Por lo cual, se requiere un cambio de prácticas tradicionales basadas en fertilización química y enfocadas a la nutrición vegetal, lo cual ha sido la tendencia en sistemas agrícolas convencionales desde la revolución verde, hacia la adopción de indicadores y análisis que incluya componentes biológicos, físicos y químicos que permitirán tener una mejor comprensión de la salud y función de este componente en la fitosanidad.

El manejo apropiado de fitopatógenos de origen edáfico es un reto muy importante para los sistemas agrícolas pues permite la conservación de la microflora y microfauna benéfica para los sistemas productivos. En la mayoría de los casos se hace un uso de plaguicidas altamente tóxicos, lo cual afecta enormemente al agroecosistema (Carrascosa et al., 2015). Recientemente se han venido realizando esfuerzos a nivel mundial para disminuir el uso de estos productos químicos, como es el control biológico y la resistencia vegetal. En este contexto, la aplicabilidad de los hallazgos acerca de los suelos supresivos es una herramienta promisoria para el control de fitopatógenos. La supresividad, ha sido conocida por más de 100 años y la misma puede ser mediada por mecanismos abióticos o bióticos (Chandrashekara et al., 2012).

La supresión edáfica, hace referencia fundamental a la salud del suelo y condiciones ecológicas específicas de la comunidad microbiana, de tal forma que los microrganismos fitopatógenos causantes de enfermedades radicales se mantengan en niveles poblacionales bajos o que no logren expresar su potencial patogénico (Jayaraman et al., 2021; Janvier et al., 2007; Magdoff, et al., 2001)

El empleo de diferentes prácticas agrícolas que promuevan la salud del suelo va a influir de manera directa en la supresividad de los mismos e indirectamente contribuye a mantener bajos niveles poblacionales de los patógenos y consecuente las enfermedades en los cultivos presentarán una menor incidencia.

En la siguiente revisión se dará a conocer la investigación concerniente a supresividad de los suelos, las implicaciones y efectos de diferentes prácticas agrícolas sobre su salud y su papel en la supresión a fitopatógenos.

Metodología

Para la escritura de esta revisión se realizó una investigación de literatura científica entre enero y junio de 2021. La revisión literaria siguió un enfoque sistémico: primeramente, se utilizaron tres bases de datos: Science Direct, Scopus y Web of Science. En la búsqueda en estas bases de datos se utilizaron todas las combinaciones de dos grupos de palabras claves en el cual en el primer grupo: suelos supresivos y en el segundo grupo las siguientes palabras (enfermedades, manejo, fitopatógenos). Las tres bases de datos fueron escogidas debido a que la Universidad Nacional de Costa Rica cuenta con suscripción a ellas, además de que cuentan con una amplia cobertura de literatura científica relevante en temas agrícolas. La selección y manejo de información recopilada se llevó a cabo mediante la versión de prueba del software EndNote™ 20. Se encontraron y seleccionaron una serie de artículos científicos relevantes en el tema de suelos supresivos y el manejo de enfermedades los cuales fueron el insumo para la elaboración de la presente revisión de literatura.

Desarrollo

I. Concepto de suelos supresivos

Los pioneros en control biológico Cook y Baker (1983), definieron los suelos supresivos como aquellos en los cuales los patógenos no se establecen o persisten, pero en caso de que el patógeno logre establecerse no causará enfermedad. Dentro de los principales mecanismos de supresividad se encuentran condiciones edáficas (químicas y físicas como el pH, materia orgánica, contenido de arcilla), interacciones antagónicas (antibiosis,

competencia, parasitismo) que hacen que los patógenos reduzcan en número o en infectividad (Weil y Brady, 2017; Alabouvette y Steinberg, 2006). Todos estos factores tanto abióticos como bióticos contribuyen en la supresividad directa o indirectamente a través de su efecto sobre la microbiología.

Tipos de suelos supresivos

De acuerdo con Chandrashekara et al., (2012) existen dos tipos de supresividad la supresión general y supresión específica.

La supresión general está directamente relacionada a la cantidad total de actividad microbiana edáfica o rizosfera de la planta en una etapa vital en el ciclo de vida del fitopatógeno. Bajo esta supresividad general, los suelos deben tener altos contenidos de biomasa microbiana y generalmente no es específica a patógenos, por lo que actúa contra un amplio espectro de fitopatógenos e involucra la actividad de muchos organismos residentes. Esta estrategia es dependiente de la calidad y cantidad de materia orgánica que provee los nutrientes necesarios para el favorecimiento de los microorganismos benéficos (Mousa y Raizada, 2016).

El otro tipo de supresión, la específica, opera solo contra algunos tipos de patógenos, la cual ha sido descrita de manera individual en diferentes patógenos tales como *Fusarium* spp., *Phytophthora* spp., *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani* Kühn, los cuales son los principales patógenos de suelo afectando una gran variedad de plantas cultivadas y silvestres. En todos los casos ya mencionados, el patógeno causa significativamente menos enfermedad en suelos supresivos en comparación con los no supresivos (conductivos); generalmente el efecto de supresividad se pierde cuando el mismo es tratado con productos biocidas (plaguicidas).

En contraste a la supresividad general, la supresividad específica es aquella que tiene altas concentraciones de una o más especies de microorganismos y resulta en altos niveles de protección contra un número específico de patógenos. Como ejemplo de un caso de supresividad específica se puede mencionar a la enfermedad conocida como pietín del trigo, causado por el hongo *Gaeumannomyces tritici* (J. Walker) Hern.-Restr. & Crous, la cual es una de las más importantes del cultivo de trigo a nivel mundial y su control por medio de la supresividad específica ha sido usada como modelos para el control biológico. Esta enfermedad es controlada por estrategias biológicas y culturales, debido a que no hay

variedades con resistencia completa, ni fungicidas que sean muy efectivos. Se ha reportado que la supresividad a este patógeno se alcanza alrededor de los siete años debido al favorecimiento de *Pseudomonas fluorescens* Migula que produce antibióticos los cuales afectan de forma negativa al patógeno inhibiendo sus procesos (Mousa y Raizada, 2016).

¿Cuánto tiempo requiere un suelo para mostrar supresividad a patógenos?

La supresividad se desarrolla en un periodo determinado de tiempo. Esta duración va a depender de las condiciones ambientales y de prácticas agrícolas dentro de ellas la principal medida en importancia de la adición de materia orgánica. De manera que también se puede definir dos tipos de suelos supresivos aquellos naturales y los inducidos. Los que muestran supresividad natural, están con frecuencia asociados con las características físicas, químicas y biológicas; mientras que los inducidos son completamente dependientes de las prácticas culturales.

II. Prácticas culturales y su efecto en la supresividad de suelos

Enmiendas orgánicas

El uso de enmiendas orgánicas para reducir o suprimir las poblaciones de los fitopatógenos ha sido bien documentado. La adición directa de materia orgánica a través de enmiendas orgánicas tales como compost, estiércol de animales, mulch, entre otras tiene muchos usos prácticos y beneficios para la mejora de la calidad, tanto a nivel biológico como físico-químico. El uso de estas enmiendas ha sido asociado con cambios en la aireación, estructura, drenaje, capacidad de retención de agua, disponibilidad de nutrientes, pH, así como promotor de la biodiversidad edáfica. El uso de compost se ha relacionado con un incremento en la biomasa y actividad microbiana y cambios en la estructura de la comunidad microbiológica. El uso de excretas animales se ha asociado principalmente con un incremento en el contenido en la materia orgánica, mejora de la agregación y respiración, infiltración e incremento de la biomasa y actividad microbiana del suelo (D'Hose et al., 2014; Bonilla et al., 2012; Saison et al., 2006).

Diversos materiales compostados, han sido asociados con reducciones en enfermedades de suelo en un amplio rango de cultivos para muchos patosistemas, tales como mal de talluelo y pudriciones radicales (*Globisporangium ultimum* (Trow) Uzuhashi, Tojo and Kakish., *R.* solani, *Dematophora necatrix* R. Hartig, *Phytophthora* spp.),

marchitamientos vasculares (*Fusarium oxysporum* Schltdl., *Verticillium dahliae* Kleb.) (Termorshuizen et al., 2006).

Los factores más importantes en cuanto a efectividad son los materiales del compost, edad, maduración y calidad. Por lo cual, el tipo y las características del compost son de suma importancia en determinar si este será o no supresivo, tal variabilidad aún existe y se basa en un mejor entendimiento de la ecología microbiana de los compost los cuales son necesarios de conocer (Hadar et al., 2012; Aviles, et al., 2011).

En el cultivo de aguacate está muy bien documentado el efecto positivo que tiene el uso de enmiendas orgánicas sobre el crecimiento, sanidad e incremento en el rendimiento productivo y en el control por medio del efecto supresivo contra el oomycete *Phytophthora cinnamomi* Rands (Bhattacharyya et al., 2007; Biederbeck, 1998).

Diferentes tipos de estiércol animal también han mostrado ser capaces de suprimir a patógenos. Bononami et al., (2007) reportaron que desechos orgánicos los cuales incluyen excretas sin compostear y subproductos de industrias pecuarias tales como huesos de carne y de pescado resultaron en supresiones de más de 50% e incrementaron los rendimientos productivos en alrededor de 12%.

La cantidad y calidad de la materia orgánica afecta las propiedades físico-químicas y los principales factores bióticos asociados a la microbiología edáfica que incluyen biomasa microbiana, diversidad, estructura de la comunidad y actividades bioquímicas. Los principales mecanismos de orden biológico por medio de los cuales la microbiología está relacionada a la supresión de la enfermedad son: incremento en la masa microbiana total, supresión relacionada a organismos específicos o grupos de organismos o una combinación de ambos; lo cual crea un microambiente competitivo y en muchos casos letal para el desarrollo de patógenos (Bonilla et al., 2012; Bonanomi, et al., 2010).

Rotación de cultivos

La rotación de cultivos provee múltiples beneficios para la salud y equilibrio microbiológico del suelo, pero su factor más importante es en el manejo de las enfermedades (Kassam et al., 2009). Sin embargo, pueden existir diferencias entre tipos de rotación de cultivos en su habilidad para reducir el desarrollo y expresión de una enfermedad en las plantas. En general, la rotación de cultivos puede reducir los patógenos por cualquiera de los siguientes mecanismos: a) interrupción del ciclo de planta-patógeno en la producción de

inóculo; b) alteración de las características físico-químicas y biológicas haciendo el ambiente menos conductivo para el desarrollo o sobrevivencia del patógeno; c) inhibición directa de los patógenos, a través de la producción de compuestos inhibitorios o tóxicos en las raíces o residuos vegetales o por medio del estímulo de la actividad de antagonistas que suprimen directamente el inóculo del patógeno (Larkin, 2015).

En el Sur de Australia, se observó que las poblaciones de *Rhizoctonia* D.C se vieron disminuidas producto de la rotación de cultivos de ocho años, lo cual se asocia a un aumento de la supresividad en estos suelos.

La supresión a diferentes enfermedades se ve incrementada con la diversidad de cultivos, debido principalmente al aumento y enriquecimiento de un grupo específico de microorganismos con potencial supresor. Lo anterior, sugiere la importancia de la composición microbiana para lograr una adecuada supresividad en sistemas agrícolas (Jayaraman et al., 2021).

Mínima labranza

Las prácticas tradicionales de preparación del terreno como es el caso de una labranza excesiva incrementan la erosión edáfica, rompen los procesos biológicos, causan pérdidas de agua, reducción de la agregación; produciendo compactación y pérdida de materia orgánica. La implementación de una mínima labranza o cero labranza mejora las características físicas, así como la capacidad de retención de agua, infiltración, porosidad, estabilidad de agregados, resistencia a la penetración y la densidad. Los principales cambios químicos que se han observado son incremento del pH, cambios en la capacidad de intercambio catiónico, incremento en la disponibilidad de nutrientes y un incremento en la diversidad biológica del mismo (Njira y Nabwami, 2013; Page et al., 2013; Stubbs et al., 2004).

Debido a los efectos positivos mencionados anteriormente se promueve una salud del suelo y la supresividad debido principalmente en los incrementos de la masa microbiana y diversidad de microorganismos.

III. Efecto de factores abióticos en la supresividad de suelos

Disponibilidad de micronutrientes

Cuando una planta es atacada por un microorganismo fitopatógeno, sus defensas naturales son activadas, lo cual causa un incremento en la producción de compuestos

fenólicos y flavonoides inhibitorios a este, tanto en el sitio de infección como en otras partes de la planta. La producción y transporte de estos compuestos es mediada en gran medida por el estado nutricional de la planta.

Entre los micronutrientes que tienen un papel fundamental en mantener la estructura integral y controlar la permeabilidad y estabilidad de las membranas celulares están el Zinc (Zn) y Boro (B). Estos dos micronutrientes también tienen efectos protectores contra el daño de compuestos tóxicos y radicales libres. Bajo deficiencias de estos microelementos, en la **tabla 1** se puede apreciar que en algunos cultivos aumenta la susceptibilidad a determinados patógenos.

Tabla 1.

Deficiencia de micronutrientes y aumento de la susceptibilidad a fitopatógenos.

Micronutriente	Cultivo	Agente causal
Boro (B)	Tomate	*Verticillium* sp.
	Frijol	*Fusarium* spp.
Zinc (Zn)	Trigo	*G. graminis*
Manganeso (Mn)	Trigo	*G. graminis*
Calcio (Ca)	Solanáceas	*Pectobacterium*
Cobre (Cu)	Trigo	*G. graminis*
		Erysiphe spp.

Fuente: Elaboración propia

Textura y estructura del suelo

La estructura y textura tienen efectos en el desarrollo de enfermedades en los cultivos debido a su capacidad de retención de agua, intercambio catiónico y facilidad para el crecimiento radical. Poca aireación y encharcamientos generalmente son el resultado de una mala o inadecuada estructura y han sido asociado con pudriciones radicales causadas por *Pythium* spp. en diversos cultivos. Así mismo, diversas especies de *Fusarium* (Link ex Grey) son promovidas positivamente por la compactación y terrenos húmedos. Chang (1994)

demostró que el grado de compactación incrementó exponencialmente la incidencia y severidad de *Fusarium* spp., en el cultivo de guisantes.

Humedad del suelo y temperatura

La severidad de patógenos de raíz está relacionada directamente con la cantidad de humedad en el suelo. Su incremento afecta de forma negativa a los agentes de control biológico y tiene un efecto positivo a los patógenos donde ellos se multiplican y se diseminan de una mejor manera. En terrenos con altos contenidos de humedad también la habilidad de las plantas para defenderse se ve disminuida debido a la poca cantidad de oxígeno y la baja temperatura que se presenta bajo estas condiciones (Abawi y Widmer, 2000).

IV. La salud del suelo en el manejo de enfermedades

Por definición se considera un suelo saludable, aquel que tiene niveles bajos de patógenos y en el cual los cultivos se desarrollan óptimamente. En general, la mayoría de las prácticas agrícolas que mejoren las condiciones físico-químicas y biológicas, también tendrán un efecto positivo en la reducción de patógenos. Abawi y Widmer (2000), encontraron que las enfermedades de origen edáfico son más severas cuando las condiciones del terreno no son las óptimas para el desarrollo óptimo del cultivo como lo son: drenaje inadecuado, pobre estructura, bajo contenido de materia orgánica, baja fertilidad, alta compactación y baja diversidad biológica. Las prácticas culturales como la rotación de cultivos, cultivos de cobertura, labranza de conservación, enmiendas orgánicas; y en general todas aquellas tendientes a incrementar la biomasa microbiana y la actividad, dan como resultado el desarrollo de condiciones favorables para el desarrollo de la supresión de la enfermedad (Page et al., 2013; Bonilla et al., 2012).

Una supresión general de la enfermedad se refiere como una supresión relacionada a un incremento no específico en el tamaño y la actividad de la comunidad microbiana, dando como resultado un incremento en la competición e interacciones (patógenos-benéficos), por lo cual se ve reducida la habilidad de los fitopatógenos para desarrollarse e infectar a las plantas. Lo anterior, está relacionado en la reducción de las poblaciones de los patógenos. Además, algunas prácticas culturales pueden estimular o favorecer grupos de organismos particulares que resultan en una supresión específica de la enfermedad (Janvier et al., 2007).

IV. Supresividad a fitopatógenos

Supresividad a *Rhizoctonia*

R. solani es un patógeno de mucha importancia agrícola y cosmopolita, causando grandes pérdidas a nivel mundial en un amplio número de cultivos. La disminución en la incidencia y severidad de ataque de *R. solani* ha sido documentada como respuesta a un incremento en el parasitismo por parte de *Trichoderma* spp., Liu y Baker (1980) lograron demostrar que el hongo micoparásito *T. harzianum* Rifai fue la causa principal de la disminución en la actividad patogénica de *R. solani*.

Así mismo, se demostró que en terrenos cultivados con manzano la supresividad a patógenos radicales ha estado asociada con el sistema radical por actinomycetes y varias especies de *Pseudomonas* Migula.

En general la severidad de la enfermedad, ha sido documentada en respuesta a la siembra continúa de una planta hospedante específica (monocultivo prolongado), y en general esto ha sido atribuido a un incremento en la presencia y parasitismo del hongo antagonista *Trichoderma* spp.; Chet y Baker (1980) demostraron que el pH tiene una influencia indirecta sobre el fenómeno de supresividad a *R. solani* a través de su impacto en las poblaciones de *T. harzianum*; afectando el crecimiento y la germinación de conidios de este hongo biocontrolador.

Supresividad a *Fusarium*

El hongo *F. oxysporum* en sus formas especiales afecta a una gran variedad de plantas cultivadas como silvestres causando marchitamientos vasculares. Los suelos que naturalmente suprimen a este patógeno han sido identificados en números sistemas de cultivos y en varias regiones del mundo. Estos terrenos comparten varias características físico- químicas entre sí incluyendo ciertos niveles de pH y contenidos de materia orgánica.

La bacteria *Pseudomonas*, es un habitante común de suelos supresivos donde la supresión al patógeno parece estar relacionada a un antagonismo directo a través de la competencia por hierro, inhibición directa del crecimiento micelial del hongo e inducción de resistencia sistema inducida en la planta hospedante. Por lo tanto, es probable que estos elementos microbianos y otros de la microflora edáfica actúen de manera conjunta para la supresión de enfermedades causadas por *Fusarium* (Jayaraman et al., 2021; Siegel-Hertz et al., 2018).

Los niveles de pH afectan en gran medida a la comunidad microbiana, dando como resultado un favorecimiento de especies no patogénicas de *Fusarium* spp., lo cual induce resistencia sistémica en el hospedante y por ende se induce una competencia directa con el patógeno por nutrientes y sitio de infección. Esta supresión también está relacionada con alta población microbiana de la bacteria *P. fluorescens*, que induce respuestas de defensa en la planta y la liberación de sideróforos (Mousa y Raizada, 2016)

Investigaciones llevadas a cabo con grupos diversos de microorganismos aislados de suelo, indican que la supresividad estuvo directamente asociada a hongos saprófitos no patogénicos (Larkin, 2015). El mecanismo de acción de aislados representativos de estos aislamientos de hongos mostraron inducir resistencia sistémica inducida en los cultivos.

Supresividad a *Pythium*

El oomycete *Pythium*, es uno de los fitopatógenos más importantes, causante de diversas enfermedades en cultivos tales como damping off, pudriciones radiculares (Weiland, 2011). Las especies de *Pythium* son patógenos oportunistas que dependen de las propiedades del terreno, comunidad microbiana y del historial agronómico desarrollado en el cultivo, causando problemas patológicos cuando la supresividad se ve reducida (Postma et al., 2000). La supresividad a *Pythium* spp. ha sido asociada con y-Proteobacteria, y otras bacterias benéficas, actinomycetes, y hongos, lo que sugiere diversos mecanismos antagonistas como micoparasitismo, producción de antibióticos o metabolitos secundarios, competencia por espacio o nutrientes y o la inducción de resistencia sistémica en la planta hospedante (Kilany et al., 2015). Diversos autores, mencionan que la supresividad a este patógeno está estrechamente ligada a condiciones bióticas, así como abióticas, incluyendo prácticas de manejo en el cultivo (Löbmann et al., 2016).

G. ultimum (sinonimia: *Pythium ultimum* Trow) es un patógeno importante causante de enfermedades como el damping-off y pudriciones radiculares en muchos cultivos dando como resultados una disminución en el crecimiento de la planta o muerte completa de ésta. Se encontró que la supresividad hacia este patógeno estaba asociada con un alto contenido de arcilla y alta capacidad de intercambio catiónico.

Así mismo, aquellos suelos que presentaron un alto contenido de arena y de materia orgánica mostraron una mayor supresividad a este patógeno. Lo anterior, sugiere que la supresividad a *Pythium* en sistemas agrícolas se presenta con frecuencia bajo condiciones de

altos niveles de fertilidad y de disponibilidad para los cultivos (Tamm et al., 2010). Altas concentraciones de nutrientes en el suelo promueven un crecimiento óptimo de las plantas y de manera indirecta se ve reducida la competencia por nutrientes con los microorganismos a nivel edáfico. Por otro lado, en condiciones limitadas de nutrientes la planta muestra deficiencias nutricionales, lo cual por lo general causa una mayor susceptibilidad a diferentes tipos de patógenos, de ahí la importancia de un balance de nutrientes en la supresividad (Ghorbani et al., 2008).

Existe una relación directa entre la disponibilidad de raíces sanas y vigorosas y un balance adecuado de nutrientes con la supresividad a *G. ultimum*. Prácticas de agricultura resiliente tales como siembra directa, labranza de conservación que permiten mantener de forma continua un sistema radicular en el terreno, de manera que se promuevan condiciones óptimas de suelo para la germinación y desarrollo de los cultivos favorecen la supresividad a patógenos (Löbmann et al., 2016).

Conclusiones

La supresividad en los suelos, se vislumbra como una alternativa agroecológica al manejo de enfermedades causadas por patógenos de suelos, en una agricultura cada vez más demandante de sostenibilidad y producción, y ante exigencias ambientales de reducción del uso de plaguicidas sintéticos. Sin embargo, aún queda mucho por investigar y mucha de esta investigación es necesaria en el campo de la ecología microbiana del suelo; se requieren más estudios para aclarar con mayor detalle lo que sucede en los suelos supresivos naturales y poder imitar estas características en suelos agrícolas. En tal sentido la evidencia científica aportada, puede ser de utilidad para favorecer y estimular la supresividad y para brindarles otra alternativa a los agricultores que permita mejorar los niveles de producción.

Literatura citada

Abawi, G., & Widmer, T. (2000). Impact of soil health practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. *Appl. Soil Ecol*. 15, 37-47. DOI:10.1016/S0929-1393(00)00070-6

Alabouvette, C, & Steinberg, C. (2006). The soil as a reservoir for antagonists to plant diseases. In: Eilenberg, J; Hokkanen, H.M.T (eds). *An ecological and societal approach*

to biological control. 2, 123-144. DOI: 10.1007/978-1-4020-4401-4_8

Aviles, M., Borrero, C., & Trillas, M. (2011). Review on compost as an inducer of disease suppression in plants grown in soilless culture. *Dyn. Soil Dyn. Plant* 5, 1–11. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/285886741_Review_on_compost_as_an_inducer_of_disease_suppression_in_plants_grown_in_soilless_culture

Bhattacharyya, R., Chandra, S., Singh, R., Kundu, S., Srivasta, A., & Gupta, H. (2007). Long-term farmyard manure application effects on properties of a silty clay loam soil under irrigated wheat-soybean rotation. *Soil Tillage Res.* 94, 386–96. https://doi.org/10.1016/j.still.2006.08.014

Biederbeck, V., Campbell, C., Rasiah, V., Zentner R., & Wen, G. (1998). Soil quality attributes as influenced by annual legumes used as green manures. *Soil Biol. Biochem.* 30, 1177–85. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00150-8

Bonanomi, G., Antignani, C., Pane, C., & Scala, F. (2007) Suppression of soil borne fungal diseases with organic amendments. *J Plant Pathol* 89(3), 311–324.

Bonilla, N, Cazorla, F., Martínez-Alonso, M., Hermoso, J., & González-Fernández, J. (2012). Organic amendments and land management affect bacterial community composition, diversity and biomass in avocado crop soils. *Plant Soil* 357, 215-26. Recuperado de https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-012-1155-1

Brady, N., & Weil, R. (2017). The nature and properties of soils. Boston, USA.: Pearson

Carrascosa, M., Sanchez-Moreno, S., & Alonso-Prados, L. (2015). Effects of organic and conventional pesticides on plant biomass, nematode diversity and the structure of the soil food web**.** *Nematology*, 17, 11-26. DOI:10.1163/15685411-00002849

Chet, I. & Baker, R. (1980). Induction of suppressiveness to *Rhizoctonia solani* in soil. *Phytopathology*. 70, 994-998. https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-1372

Chang, T.J. (1994). Effects of soil compaction, temperature, and moisture on the development of the Fusarium root rot complex of pea in South Western Ontario. *Phytoprotection*, 75, 125-131. DOI: https://doi.org/10.7202/706059ar

Chandrashekara, C., Bhatt, J., Kumar, R. & Chandrashekara, K. (2012). Supressive Soils in Plant Disease Management. In Eco-friendly Innovative Approaches in Plant Disease Management. Publisher: International Book Distributors and Publisher, New Delhi,

Editors: V.K. Singh, Y. Singh, A. Singh.

Cook, J. & Baker, K. (1983). The Nature and Practice of Biological Control of Plant Pathogens. American Phytopathological Society, St. Paul.

D'Hose, T., Cougnon, M., De Vliegher, A., Vandecasteele, B., & Viaene, N. (2014). The positive relationship between soil quality and crop production: a case study on the effect of farm compost application. *Appl. Soil Ecol.* 75, 189-98. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.11.013

Ghorbani, R., Wilcockson, S., Koocheki, A., & Leifert, C. (2008). Soil management for sustainable crop disease control: a review Environ. *Chem. Lett.*, 6, 149-162. Recuperado de https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-008-0147-0

Hadar, Y., & Papadopoulou, K. (2012). Suppressive composts: microbial ecology links between abiotic environments and healthy plants. *Annu. Rev. Phytopathol.* 50:133-53. DOI: 10.1146/annurev-phyto-081211-172914

Janvier, C., Villeneuve, F., Alabouvette, A., Edel-Hermann, V., Mateille, T; Steinberg, C. (2007). Soil health through soil disease suppression: which strategy from descriptors to indicators. *Soil Biol. Biochem.* 39,1-23. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.07.001

Jayaraman, S., Naorem, A., Lal, R., Dalal, R., Sinha, N., Patra, A., & Chaudhari, S. (2021). Disease-Suppressive Soils-Beyond Food Production: a Critical Review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, (21), 1437–1465. Recuperado de https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-021-00451-x

Kassam, A.H; Friedrich, T; Shaxson, F; Pretty, J. (2009). The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake. *Int. J. Agric. Sustain.* 7, 292-320. https://doi.org/10.3763/ijas.2009.0477

Kilany, M., Ibrahim, E., Amry, S., Roman, A. & Siddiqi, S. (2015). Microbial suppressiveness of Pythium damping-off diseases. In M.K. Meghvansi, A. Varma (Eds.), Organic Amendments and Soil Suppressiveness in Plant Disease Management, Springer, Berlin.

Larkin, R.P. (2015). Soil Health Paradigms and Implications for Disease Management. Annu. Rev. Phytopathol. 53, 199-221. DOI: 10.1146/annurev-phyto-080614-120357

Liu, S. & Baker, R. (1980). Mechanism of biological control in soil suppressive to *Rhizoctonia soIani*. *Phytopathology* 70, 404-412. 1980. DOI: 10.1094/Phyto-70-404

Löbmann, M., Vetukuri, R., de Zinger, L., Alsanius, B., Grenville-Briggs, L. & Walter, A.J. (2016). The occurrence of pathogen suppressive soils in Sweden in relation to soil biota, soil properties, and farming practices. *Applied Soil Ecology*, 107, 57-65. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.05.011

Magdoff, F. (2001). Concepts, components, and strategies of soil health in agroecosystems. *J. Nematol.* 33, 169–72. Recuperado de https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19265876/

Mousa, W. & Raizada, M. (2016). Natural Disease Control in Cereal Grains. Reference Module in Food Science. Elsevier. DOI:10.1016/B978-0-08-100596-5.00206-7

Njira, K. & Nabwami, J. (2013). Soil management practices that improve soil health: elucidating their implications on biological indicators. *J. Anim. Plant Sci.* 18:2750-60. Recuperado de https://www.m.elewa.org/JAPS/2013/18.2/3.pdf

Page, K., Dang, Y. & Dalal, R. (2013). Impacts of conservation tillage on soil quality, including soil-borne diseases, with a focus on semi-arid grain cropping systems. *Aust. Plant Pathol.* 42, 363-77. DOI:10.1007/s13313-013-0198-y

Postma, J., Willemsen de Klein, M., & van Elsas, J. (2000). Effect of the Indigenous Microflora on the Development of Root and Crown Rot Caused by *Pythium aphanidermatum* in Cucumber Grown on Rockwool. Phytopathology.90(2),125-33. DOI: 10.1094/PHYTO.2000.90.2.125.

Saison, C; Degrange, V; Oliver, R; Millard, P; Commeaux, C. (2006). Alteration and resilience of the soil microbial community following compost amendment: effects of compost level and compost-borne microbial community. *Environ. Microbiol.* 8(2), 47-57. DOI:10.1111/j.1462-2920.2005.00892.x

Siegel-Hertz, K., Edel-Hermann, V., Chapelle, E., Terrat, S., Raaijmakers, J. M., & Steinberg, C. (2018). Comparative Microbiome Analysis of a *Fusarium* Wilt Suppressive Soil and a Fusarium Wilt Conducive Soil From the Châteaurenard Region. Frontiers in microbiology, 9, 568. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00568

Stubbs, T., Kennedy, A., & Schillinger, W. (2004). Soil ecosystem changes during the transition to no-till cropping. *J. Crop Improv.* 11:105–135. https://doi.org/10.1300/J411v11n01_06

Tamm, L., Thürig, B., Bruns, C., Fuchs, J., Köpke, U., Laustela, M., Leifert, C., Mahlberg, N., Nietlispach, B., Schmidt, C., Weber, F., & Fließbach, A. (2010). Soil type,

management history, and soil amendments influence the development of soil-borne (*Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum*) and air-borne (*Phytophthora infestans*, *Hyaloperonospora parasitica*) diseases. *European Journal of Plant Pathology*, 127, 465-481. DOI:10.1007/s10658-010-9612-2

Termorshuizen, A., van Rijn, E., van der Gaag, D., Alabouvette, C., Chen, Y., Lagerlöf, J., Malandrakis, A., Paplomatas, E., Rämert, B., Ryckeboer, J., Steinberg, C., & Zmora-Nahum, S. (2006). Suppressiveness of 18 composts against 7 pathosystems: Variability in pathogen response. *Soil Biology and Biochemistry*. 38, 2461–2477. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.03.002

Weiland, J. E. (2011). *Influence of isolation method on recovery of Pythium species from forest nursery soils in Oregon and Washington*. Plant Dis. 95:547-553. DOI: 10.1094/PDIS-04-10-0242

Environment & Technology ISSN: 2711 4422
Vol. 2 No. 1 Enero-Junio, 2021: 64-79
URL: https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/
DOI: https://doi.org/10.56205/ret.2-1.4

Similitud de las propiedades físicas del biodiesel y de un fluido hidráulico para tractor

Similitude of physical properties of biodiesel and a tractor hydraulic fluid

Julio A. Mata-Bulgarelli
Electro-mechanical engineer
School of Electromechanical Engineering
Latin University of Costa Rica - Heredia, 40902, Costa Rica
andreimatab@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-8485-3267
Costa Rica

Julio F. Mata-Segreda
Physical chemist
Biomass Laboratory, School of Chemistry
University of Costa Rica, 11501-2060, Costa Rica
julio.mata@ucr.ac.cr
https://orcid.org/0000-0002-2356-4699
Costa Rica

Resumen

Se discute el uso potencial del biodiesel puro como fluido de transmisión de energía mecánica, como una mezcla equivolumétrica de dos marcas del bioproducto hechos en Costa Rica. Este fluido neotérico fue comparado *vis à vis* con un fluido hidráulico usado para equipo de alta demanda hidráulica. Las propiedades físicas consideradas fueron el coeficiente térmico de expansión cúbica, la compresibilidad isotérmica, la entalpía de vaporización, la capacidad calórica y la conductividad térmica. La mezcla de biodiesel mostró mejores o iguales propiedades que el producto comercial.

Palabras clave: Ésteres grasos, líquido hidráulico, expansión térmica, compresibilidad isotérmica, conductividad térmica

Abstract

The potential use of neat biodiesel as fluid for transmission of mechanical energy is discussed for an equi-volumetric mixture of two biodiesel samples made in Costa Rica. This neoteric fluid was compared *vis à vis* a commercial petroleum-derived fluid for heavy-duty equipment. The physical properties considered were thermal coefficient of cubic expansion, isothermal compressibility, vaporisation enthalpy, heat capacity, and thermal heat conductivity. Biodiesel showed equal or better properties than the petroleum-derived product.

Keywords: Fatty esters, hydraulic liquid, thermal expansion, isothermal compressibility, thermal conductivity.

Recibido: *09/05/2021*
Revisado: *28/06/2021*
Aprobado: *23/08/2021*

Los artículos de Environment & Technology se comparten con Licencia Creative Commons: CC BY-NC-ND

Introduction

The use of vegetable oils as hydraulic fluids and lubricants has been considered in the last few years [Regueira, T., *et al.*, 2011, Paredes, *et al.*,2014]. Waynick and Peebles [2017] filed a patent application on the formulation of hydraulic fluids and lubricants that incorporated biodiesel, amongst other petroleum-derived base components.

The kind of materials collectively known as biodiesel are mixtures of methyl fatty esters, obtained by transesterification of vegetable oils or animal fats with methanol.

Most investigations on this topic are devoted to its use as substituent of petroleum-derived diesel fuel. The analysis and technical assessment on the subject mainly have to do with economic, political, and industrial aspects [Mittelbach 2004, Pahl 2005].

As indicated above, the main uses of biodiesel are as fuel for transportation (land, maritime and air), farm equipment, electricity generation, and industrial and space heating. Modern injection devices for thermal equipment require a minimum lubricity capacity of fuels, to avoid excessive wear of the moving parts of fuel pumps and injectors.

Biodiesel has particularly good lubricating properties [Mittelbach 2004], and therefore lubricity in general as potential application is the result of its relatively high viscosity index and low isothermal compressibility, $\kappa_T = -1/V\,(\partial V/\partial p)_T$ [Castellón-Elizondo, *et al.* 2006, Encinar *et al.* 2020].

Consider molecular layers of lubricants under mechanical stress. This type of long-chain molecules must not get *squeezed out* from the space between sliding surfaces. The layers must sustain the bidimensionality of the force field developed during sliding.

Alvarado-Montero *et al.* [2018] have reported the statistically-significant absence of any molecular structural effect on some physical properties of six biodiesels studied in our laboratory from different biochemical origins, such as the thermal coefficient of cubic expansion, $\alpha = 1/V\,(\partial V/\partial T)_p$, the isothermal compressibility, the enthalpy of vaporisation, and the Hildebrand solubility parameter [Hildebrand and Scott, 1964]. For example, the average value of κ_T found for these fatty esters was $(8{,}2 \pm 0{,}7) \times 10^{-10}$ Pa^{-1}. This figure checks

well with the corresponding values observed for machine lubrication oils in the range 6×10^{-10} Pa^{-1} – 8×10^{-10} Pa^{-1}) [Štěpina & Veselý 1992].

Avoidance of fugitive emissions and zero leakage are crucial for the effective control of performance of hydraulic circuits. Meeting of environmental requirements is also an important aspect of the issue. Biodiesel is a biodegradable material. Lutz *et al.* [2006] studied the kinetics of the microbial degradation of palm biodiesel by a wild-type aerobic bacterial population at 20 ± 2 °C obtained from common open environments (Superbugs®). The biodegradation experiments showed that the initial rate of oxygen uptake for palm biodiesel was similar to the quantities observed in biodegradation experiments of aqueous solutions of a group of carbohydrates and amino-acids, with concentrations of 1,0 mmol/dm^3. Pieces made of elastomeric materials are susceptible to chemical attack by organic liquids. Lutz and Mata-Segreda [2008] measured the rate of absorption of biodiesel and petrodiesel by synthetic-rubber gaskets and found that biodiesel absorption takes place around 10% more slowly than the fossil analogue. This estimation may be in some error, since the authors assumed that either liquid did not dissolve the polymer, or unnoticed detachment of small superficial particles [Shahin Akhlaghi *et al.*, 2015]. The solid matrix showed a degree of biodiesel absorption of 97% by mass and 189% for the petroleum derivative. The observation led to the conclusion that worries for use of biodiesel as fuel, solvent, lubricant, or transfer fluid can be considered of lesser concern about negative externalities, relative to petroleum-derived materials.

This work compares physical properties of an equal-volume mixture of two commercial biodiesel samples as neoteric fluid for the transfer of mechanical energy *vs. Castrol Universal Tractor Fluid*® used for heavy-duty equipment.

Methodology

Materials. Biodiesel samples were obtained from Biodiesel H&M, S. A. (Santa Clara, Costa Rica) and Energías Biodegradables, S. A. (Ochomogo, Costa Rica). *Castrol Universal Tractor Fluid*® was obtained from the garage of Transportation Services Department of the University of Costa Rica.

Laboratory measurements. The thermal coefficient of cubic expansion of the liquids studied, $\alpha = 1/V\,(\partial V/\partial T)_p$, was determined by measuring the effect of temperature on density by using a pycnometer and analytical balance. The linear relation observed between *ln* ($mass_{liquid}$) *vs.* temperature allowed the calculation of α as the negative of the slope of such a line, as discussed in any standard textbook of experimental physical chemistry [Shoemaker & Garland, 1968]. Other properties were assessed by numerical analysis (*vide infra*).

The thermal conductivity determination was obtained from the Newton's cooling kinetics, as described by Rodríguez-Acevedo *et al.* (2018).

Results and discussion

The analysis of findings is described as follows.

Thermal expansion (α). The transfer of mechanical energy *via* a working fluid is not 100% efficient. Part of the mechanical work done on the fluid system is transformed into an increase in its internal energy and a flux of heat towards the surroundings. The increase in internal energy has an expanding effect on the working fluid. This effect needs also to be considered in terms of the structural integrity of the hydraulic system, due to deleterious effects on couplings, hoses, gaskets, and other pieces of equipment.

It is desirable that transmission fluids have low α. The value reported by Alvarado-Montero *et al*. [2018] for different biodiesel types was $(8{,}5 \pm 0{,}4) \times 10^{-4}$ K^{-1}. The average value found for the biodiesel mixture in this study was $\alpha = (7{,}7 \pm 0{,}2) \times 10^{-4}$ K^{-1}. Thus, one may use the mean value $\alpha = (8{,}4 \pm 0{,}5) \times 10^{-4}$ K^{-1} for the bioproduct. Prestone® brake fluid showed $\alpha = (8{,}56 \pm 0{,}03) \times 10^{-4}$ K^{-1}, and Adarga® household lubricant $\alpha = (7{,}21 \pm 0{,}09) \times 10^{-4}$ K^{-1}. The find for the biodiesel mixture checks well with the data for these materials chosen for comparison.

Determination of α for *Castrol universal tractor fluid*® gave the result $(7{,}1 \pm 0{,}6) \times 10^{-4}$ K^{-1}, and **figure 1** shows the raw experimental data from 4 runs.

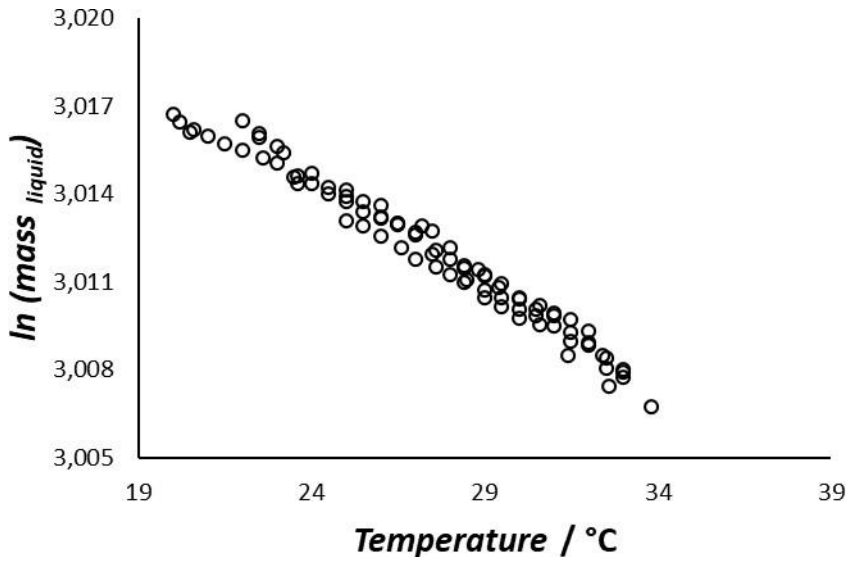


Figure 1. Determination of the thermal coefficient of cubic expansion of *Castrol Universal Tractor Fluid*® under ambient pressure. Source: own elaboration.

The thermal expansivity of the heavy-duty liquid is about 20% more adequate than for the neoteric fluid ($p < 0{,}01$). Despite of the difference, the observation indicates that biodiesel may be considered satisfactory from the thermal viewpoint.

Enthalpy of vaporisation ($\Delta_{vap}H$). This thermodynamic parameter is pertinent to this study because it gives an indirect notion about liquid volatility. Besides an assessment of risk of fire or explosion, one has to consider the probability of generation of bubbles by boiling inside the hydraulic lines. The calculation of $\Delta_{vap}H$ was done from the α value, according to the model of *liquids as soft-solids* of Castellón-Elizondo *et al.* [2006]:

$$\alpha = \frac{7\,C_p}{72\beta\,\Delta_{vap}H} \qquad \textbf{(1)}$$

Where C_p is the specific heat of the material, and β is the molecular packing parameter. The magnitude of the two parameters for long-chain hydrocarbon materials such as the *Castrol* petroleum-derived material produce Eq. (2) [Lezcano-González & Mata-Segreda, 2011]:

$$a = \frac{\mathbf{0,154}}{\Delta_{vap}\boldsymbol{H}} \qquad \textbf{(2)}$$

and the resulting value of $\Delta_{vap}H$ for the *Castrol*® product is $(2{,}2 \pm 0{,}2) \times 10^2$ kJ/kg. This value is smaller than the equivalently reported value $(3{,}5 \pm 0{,}2) \times 10^2$ kJ/kg for biodiesel by Alvarado-Montero *et al.* (2018) and the present study. The greater intermolecular forces between the more polar biodiesel molecules explains the observation, thus resulting in a positive characteristic of the biologically-derived neoteric fluid, that is, a lower degree of volatility relative to the petroleum-derived material.

3.3 Specific heat. This thermodynamic property gives the amount of energy required to heat up a material by one degree [Çengel & Boles, 2015]. This value was calculated for the *Castrol* hydrocarbon by way of Eq. (3) (Cameron, 1966):

$$\boldsymbol{C_p} = \frac{\mathbf{1}}{\sqrt{\boldsymbol{specific\ gravity}}} \times (\mathbf{0,403 + 0,00081}\,\boldsymbol{T})\,\frac{\boldsymbol{cal}}{\boldsymbol{g\,°C}} \qquad \textbf{(3)}$$

The value C_p = 1,88 kJ K^{-1} kg^{-1} results for T = 25 °C and specific gravity = 0,882 [MSD for *Castrol tractor fluid*®, 2019]. An identical value of C_p = 1,89 kJ K^{-1} kg^{-1} is obtained for the neoteric mixture (specific gravity = 0,88).

Thermal conductivity. The increase in internal energy accumulated by the working fluid during its performance must be removed by flow of heat to the surrounding environment. Thus, it is necessary to determine the thermal conductivity of the *Castrol* product, in order to compare the property with that of the biodiesel mixture.

Rodríguez-Acevedo *et al.* [2018] set a semiempirical model that correlates the thermal conductivity of liquids (λ) with their Newton's cooling rate constant k_N as follows: $J = k_N \times \rho \times C_p$, where ρ is the liquid density. The experimental quantity J allows the correlation of k_N with λ with an acceptable degree of certainty ($p < 0{,}01$), described by the calibration equation:

$$J = 1,5 + 2,2\,\lambda \qquad (4)$$

Figure 2 shows the raw data for the kinetic runs measured for the petroleum-derived product.

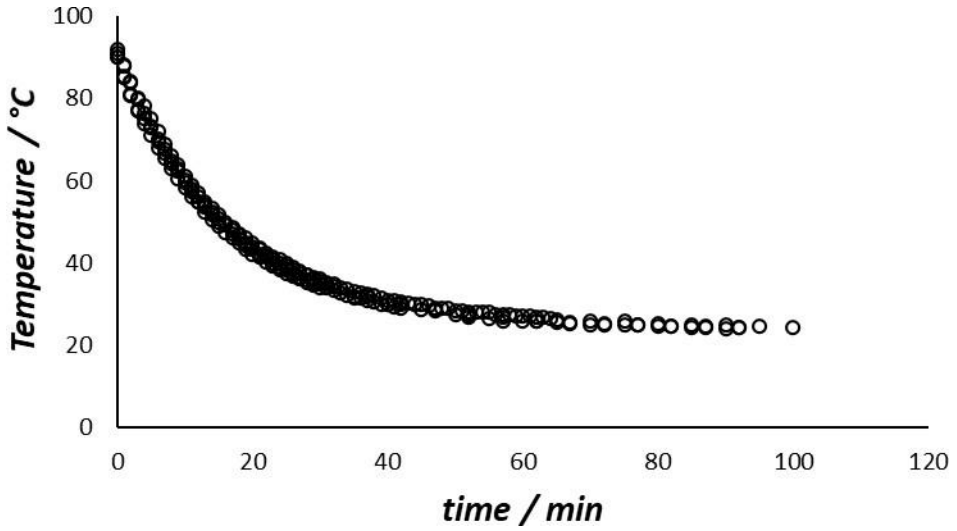


Figure 2. Determination of Newton's cooling rate constant for *Castrol Universal Tractor Fluid®. Source: own elaboration.*

The time-temperature data pairs were fitted to an exponential-decay equation, according to Newton's cooling law [Maruyama & Moriya, 2021]:

$$-dT/dt = k_N\,(T - T_{final}) \qquad (5)$$

$$T\ /\ °C = T_{final} + (T_{initial} - T_{final})\ exp\ (-k_N\ t) \qquad (6)$$

The average k_N value resulted from four runs for the petroleum-derived product was $(1,07 \pm 0,07) \times 10^{-2}$ s^{-1}. By using C_p = 1,88 kJ K^{-1} kg^{-1} and ρ = 882 kg m^{-3}, one obtains J = 1,77 kW K^{-1} m^{-3}, which finally gives λ = 0,12 kW K^{-1} m^{-1}. This value checks well with λ = 0,13 kW K^{-1} m^{-1} calculated from Eq. (7) (Cameron, 1966):

$$\lambda = \frac{0,000276}{specific\ gravity}\left(1 - 0,0005 \times \frac{T}{3}\right)\frac{cal}{s\ cm^2\ °C\ cm^{-1}} \quad (7)$$

λ values for biodiesel obtained in our laboratory cluster around 0,3 kW K^{-1} m^{-1} (Zúñiga-Campos, 2018). This shows that biodiesel has a better performance as coolant than the *Castrol*® product (0,3 kW K^{-1} m^{-1} *vs*. 0,12 kW K^{-1} m^{-1}).

Isothermal compressibility. Compressibility is one of the key characteristics that must be considered, when a material is considered as fluid for transfer of mechanical energy. A low κ_T value assures fast mechanical response time, high pressure transmission velocity and low power loss [Regueira *et al*., 2011], and also low heat generation upon compression. Other consequences from low κ_T are good lubricity, high viscosity index and adequate viscosity and pressure-viscosity coefficient to make the protective layer between sliding surfaces [Paredes, *et al*., 2014].

The soft-solid model for liquids [Castellón-Elizondo *et al.,* 2006] allows the estimation of κ_T from α for nonpolar or moderately polar liquid substances:

$$\kappa_T \cong \frac{\alpha T}{\Delta_{vap} U / V_m} \quad (8)$$

The value of the molar volume of the multicomponent hydrocarbon tractor fluid was not available. Therefore, κ_T had to be evaluated by other means. The technical information found in SAE Technical Paper Series *Physical and Chemical Properties of a Typical Automatic Transmission Fluid* [Kemp & Linden, 2018] allows the estimation of the bulk modulus ($1/\kappa_T$) for *Castrol universal tractor fluid*®, by interpolation of data shown graphically, such that $\kappa_T = 7,7 \times 10^{-10}$ Pa^{-1} at ~300 K. This result indicates that biodiesel is only 6% more compressible than the petroleum-derived product. ($8,2 \times 10^{-10}$ Pa^{-1} *vs*. $7,7 \times 10^{-10}$ Pa^{-1}), property that is compatible with its proposed use as hydraulic transmission fluid for equipment used for low hydraulic tasks.

Volume changes of liquids is the composite result of simultaneous thermal expansion and isothermal compression. Eq. (9) explains the situation:

$$\boldsymbol{dV} = \left(\frac{\boldsymbol{\partial V}}{\boldsymbol{\partial T}}\right)_{\boldsymbol{p}} \boldsymbol{dT} + \left(\frac{\boldsymbol{\partial V}}{\boldsymbol{\partial p}}\right)_{\boldsymbol{T}} \boldsymbol{dp} \qquad \textbf{(9)}$$

$$\boldsymbol{dV/V} = a\ \boldsymbol{dT} - \boldsymbol{\kappa_T}\ \boldsymbol{dp} \qquad \textbf{(10)}$$

Integration of Eq. (10) gives surfaces $V/V_o = f(T, p)$. The results are shown in **figure 3** and **figure 4**, from the initial values 25 °C and 0,1 MPa up to 60 °C and 70 MPa.

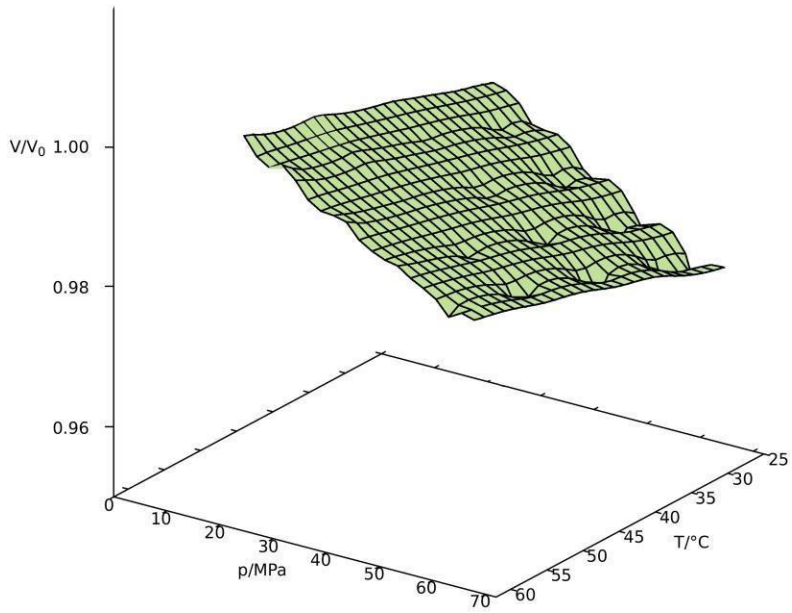


Figure 3. Simultaneous effect of pressure and temperature on the equal-volume biodiesel mixture. Source: own elaboration.

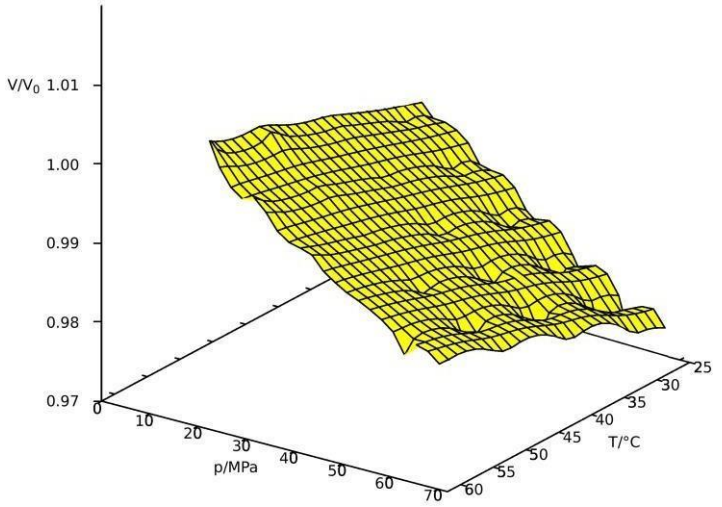


Figure 4. Simultaneous effect of pressure and temperature on *Castrol Universal Tractor Fluid*®. Source: own elaboration.

The independent variables in the plots were chosen according to the maximum pressures generated in different instruments such as hydraulic steering (~ 21 MPa), hydraulic lifts (~ 22 MPa), hydraulic jacks (25 MPa – 42 MPa), or hydraulic pistons (70 MPa). The data were estimated from different catalogue booklets.

The overall thermomechanical effect is similar for both liquids. One obtains a net compression of 2,3 % for the biodiesel mixture and 2,5 % for the petroleum-derived material. The compressive mechanical effect predominates over the thermal expanding effect.

A more formal analysis for this result comes from the calculation of the so-called *thermal pressure coefficient*:

$$\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V = \frac{a}{\kappa_T} \qquad \textbf{(11)}$$

The resulting values are 1,0 ± 0,1 MPa K^{-1} for the biodiesel mixture and 0,90 ± 0,09 MPa K^{-1} for the petroleum-derived product.

The macroscopic interpretation of $(\partial p/\partial T)_V$ is simply the rate of variation of pressure caused by temperature at fixed liquid volume. One encounters its molecular significance from the *thermodynamic state equation* [Berry, Rice & Ross, 2000]:

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V - p \qquad (12)$$

Where U is the internal energy of the system.

The so-called internal pressure, $(\partial U/\partial V)_T$, gives an estimate of the magnitude of cohesive forces of liquids [Abdulagatov, *et al.*, 2018, Ivanov & Abrosimov, 2005], since it quantifies the amount of energy needed to obtain a unitary isothermal expansion. Cohesion generates a pressure within the liquid that is found to fall in the range 10^2 MPa – 10^3 MPa. Internal pressure is sensitive to applied external pressure. As a liquid is compressed, its molecules are positioned closer to each other, and the internal pressure increases up to a point, where it becomes negative. This is interpreted as the predominance of repulsive forces at extremely high pressures. On the other hand, internal pressure decreases with temperature. The molecular interpretation is that an increase in temperature is associated with an increase in the degrees of freedom of molecules, which can bring about a decrease of the attractive interactions if these are directional, such as hydrogen bonds or dipole-dipole interactions, because they restrict the motion of molecules in the supra-structural packing of the fluid. Thus, the stronger attractive dipole forces amongst biodiesel molecules explain its potential for use as hydraulic fluid.

It is therefore interesting having found a balancing effect on the molecular cohesion between the more polar biodiesel material with average chain length of 17-19 atoms $[(\partial U/\partial V))_T = (3{,}0 \pm 0{,}3)$ MPa] and the case of nonpolar 40 carbon-atom petroleum-derived products $[(\partial U/\partial V)_T = (2{,}7 \pm 0{,}3)$ MPa].

Economic and environmental aspects. Countries that do not produce/process petroleum have to face the economic (and sometimes political) instabilities derived by the oscillating price of this *commodity*. It is therefore important to promote the development of new materials and technologies independent from fossil sources.

The incorporation of biodiesel as neoteric material for use beyond fuel should be considered as relevant, not only for petroleum non-producing countries but also for those that have this non-renewable asset.

Vegetable oils and animal fats are renewable feedstocks, and the derivatives from their oleochemistry display greater intermolecular forces than hydrocarbons, an advantage that brings about better properties such as high viscosity index, high lubricity, and lower volatility, as indicated in this account based on primary experimental data such as thermal expansivity and heat-transfer properties.

At the time of working on this project, the price of nationally produced biodiesel was only 13 % the price of *Castrol Universal Tractor Fluid*®, in the local market. If biodiesel were in definite use as hydraulic fuel its real cost would obviously be higher because the need to incorporate additional additives, such as antioxidant agents. Nevertheless, the final figures are expected to be clearly advantageous for the neoteric biomaterial.

There are positive externalities bound to neoteric uses of renewables such as vegetable or animal lipids and their derivatives. Perhaps the most important is their biodegradable nature. As it was mentioned at the beginning of this account, the biodegradable action of wild-type microorganisms on biodiesel is comparable to simple biochemicals such as amino-acids or carbohydrates [Lutz *et al.*, 2006].

Biochemicals such as biodiesel can also be included in circular-economy loops, mainly those cases where the product is made from used cooking oils. But this is another task that must be taken in a future research project.

Conclusions

- The α value of the biodiesel mixture studied is similar to the values of the *benchmark* materials indicated: “pure” biodiesels, brake fluid or household lubricant.
- The heavy-duty hydraulic tractor fluid has an α value similar to the neoteric mixture studied.

- The enthalpy of vaporisation of biodiesel is higher than the value found for the petroleum-derived material. This implies lower volatility of the neoteric biomaterial.
- The specific heat of biodiesel and of the heavy-duty hydraulic fluid are similar.
- The thermal conductivity of the neoteric mixture is twice as large as the value determined for the petro-product. This makes biodiesel to perform better as coolant.
- The isothermal compressibilities of both petro and bioproducts are similar. Thus, the combined thermo-mechanic characteristics of these fluids show no significant differences.
- An interesting balance was found between the effect of polarity and molecular size on the degree of molecular cohesion between the more polar biodiesel material with average chain length of 17-19 atoms and the nonpolar 40 carbon-atom petroleum-derived products.
- Another advantage from the use of the neoteric mixture and by extension of "pure" biodiesels in general, over the petroleum-derived hydraulic material, is clear from their renewable nature and biodegradability.
- The overall finding is that fatty esters possess a true potential as fluids for transfer of mechanical energy.

Acknowledgement

The authors thank Biodiesel H&M, S. A. and Energías Biodegradables, S. A. for providing samples of their biodiesel products. JAM-B wishes to thank the academic guidance of Prof. Andre Tabash in the process of writing a thesis document submitted to the Latin University of Costa Rica School of Electromechanical Engineering as partial fulfilment of the requirements for graduation as electromechanical engineer.

References

Abdulagatov, I., Magee, J., Polikhronidi, N., & Batyrova, R. (2018). Internal pressure and internal energy of saturated and compressed phases. In: Wilhelm, E. and Letcher, T.

(Eds.), *Enthalpy and internal energy: Liquids, solutions and vapours*, Royal Society of Chemistry: London, chapter 16.

Alvarado, H., Monge, C., Vargas, M., Lutz, G., & Mata, J. (2018). Absence of a molecular structural effect on the thermodynamic properties of several biodiesel materials. *UNED Research Journal, 10(2),* 362-367.

Berry, R.., Rice, S., & Ross, J. (2000). *Physical chemistry*, 2nd edition, Oxford University Press, Oxford, chapter 17.

Cameron A. (1966). *Principles of lubrication*, New York: Longmans Green & Co. Ltd, p. 517.

Castellón, Lutz., & Mata, J. (2006). The soft-solid model for liquids. Application to biodiesel and other materials of technological interest. *Journal of Physical Organic Chemistry*, *19,* 744-747. DOI: 10.1002/poc.1068

Castrol. (2019). *Safety Data Sheet. 7/07/20 for Castrol Universal Tractor Fluid*. Recuperado de https://www.castrol.com/en_us/united-states/home/heavy-commercial-vehicles-oil-and-fluids/product-types/driveline-fluids.html

Çengel, Y., & Boles, M. (2015). *Termodinámica*, México: Mc Graw-Hill, pp. 176 – 178.

Encinar, J., Nogales, S., & González, J. (2020). Biodiesel and bio-lubricant production from vegetable oils through transesterification. *Engineering Reports*, 2:el2190, *DOI:* 10.1002/eng2.1290.

Hildebrand, J., & Scott, R. (1964). *The solubility of nonelectrolytes*, 3rd edition, Dover Publications, Inc.: New York.

Ivanov, E., & Abrosimov, V. (2005). Relationship between the internal pressure and cohesive energy density of a liquid nonelectrolyte. Consequences of application of Dack's concept, *Journal of Structural Chemistry*, *46*, 856-861. DOI:10.1007/s10947-006-0210-2

Kemp, S., & Lindon, J. (2018). Physical and Chemical Properties of a Typical Automatic Transmission Fluid. *SAE Technical Paper Series*. International Fuels & Lubricants

Meeting & Exposition, North Carolina State University. DOI: https://doi.org/10.4271/902148

Lezcano, R., & Mata, J. (2011). Viscous-flow mechanism of #6 fuel oil-palm olein mixtures. *Ciencia y Tecnología* (Costa Rica), *27*, 78-83. Recuperado de http://repositorio.ucr.ac.cr/handle/10669/14651

Lutz, G., & Mata, J. (2008). Kinetics of interaction of palm ethyl biodiesel with three different polymer materials. *Journal of Physical Organic Chemistry*. 1068-1071. DOI: 10.1002/poc.1427

Maruyama, S., & Moriya, S. (2021). Newton's law of cooling: Follow up and exploration, International Journal of Heat and Mass Transfer, 164. DOI: 10.1016/ijheatmasstransfer.2020.120544.

Mittelbach, M., & Remschmidt, C. (2004). *Biodiesel, the comprehensive handbook*, Boersdruck: Vienna.

Pahl, G. (2005). Biodiesel. *Growing a new energy economy*, Chelsea Green Publishing Company: White River Junction, Vermont, chapter 4.

Paredes, X., Comuñas, M., Pensado, A., Bazile, J., Boned, C., & Fernández, J. (2014). High pressure viscosity characterization of four vegetable and mineral hydraulic oils. *Industrial Crops and Products, 54*, 281-290. DOI:10.1016/j.indcrop.2014.01.030

Regueira, T., Lugo, L., Fandiño, O., López, E., & Fernández, J. (2011). Compressibilities and viscosities of reference and vegetable oils for their use as hydraulic fluids and lubricants. *Green Chemistry, 13*, 1293-1302. DOI:10.1039/c0gc00597e

Rodríguez, F., Fiore, S., Zúñiga, M., Miranda, BC., & Mata, JF (2018). Newton's cooling rate constant of liquids for the relative assessment for heat transport, *International Journal of Renewable Energy & Biofuels* **2018**, *DOI:* 10.5171/2018.996542.

Shahin, U., Gedde, M., Hedenqvist, M., & Conde, M. (2014). Deterioration of automotive rubbers in liquid biofuels: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 43*, 1238–1248.

Shoemaker, D., & Garland, C. (1968). *Experimentos de fisicoquímica*, Spanish ed., UTEHA: México.

Štěpina, V., & Veselý, V. (1992). *Lubricants and special fluids*, Elsevier: Amsterdam.

Waynick, J., & Peebles, M. (2017). Hydraulic fluid and lubricant compositions using biodiesel, US Patent 2017/0152458A1, 1 June 2017. Retrieved from: https://www.freepatentsonline.com/y 2017/0152458.html

Zúñiga, M. (2018). Factibilidad del biodiesel y aceites vegetales como fluidos térmicos en el aprovechamiento de fuentes termosolares y geotérmicas de baja entalpía. Tesis, Universidad de Costa Rica.

Environment & Technology ISSN: 2711 4422
Vol. 2 No. 1 Enero-Junio,2021: 80-95
URL:https://revistaenvironmenttechnology.co
DOI: https://doi.org/10.56205/ret.2-1.5

Propuesta para la gestión de residuos electrónicos en la zona central del área urbana de Montería

Proposal for the management of electronic waste in the central zone of the urban area of Monteria

María José Conde Noble
Ingeniera sanitario y ambiental
Universidad Pontificia Bolivariana
Condemajo@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-2452-7184
Colombia

Resumen

La producción de aparatos electrónicos constituye uno de los sectores de mayor crecimiento en la industria manufacturera; paralelamente, la innovación tecnológica y la globalización de los mercados contribuyen a un proceso vertiginoso de sustitución de estos productos que generan anualmente toneladas de residuos electrónicos (Roman Moguel, 2007). En el presente documento se muestran los resultados de un proceso de investigación, que incluyó la revisión de la situación actual de los residuos generados a partir de aparatos eléctricos y electrónicos en locales comerciales dedicados a la venta y reparación de estos en la ciudad de Montería, departamento de Córdoba (Colombia). Se empleo la aplicación de encuestas en los locales comerciales para analizar y tabular la información obtenida, se hizo recopilación de información secundaria sobre la caracterización de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos y a partir de eso se formularon las posibles estrategias para la adecuada recolección y disposición de los residuos.

Palabras clave: aparatos electrónicos, caracterización, recolección, disposición final.

ABSTRACT

The production of electronic equipment is one of the fastest growing sectors in the manufacturing industry; At the same time, technological innovation and the globalization of markets are contributing to a rapid process of replacing these products, which generate tons of electronic waste each year (Roman Moguel, 2007). This document shows the results of a research process, which included a review of the actual situation of waste generated from electrical and electronic equipment in commercial premises dedicated to the sale and repair of such equipment in the city of Montería, department of Córdoba (Colombia). The application of surveys in commercial premises was used to analyze and tabulate the information obtained, Secondary information on the characterization of waste electrical and electronic equipment was collected and possible strategies for the proper collection and disposal of waste were formulated.

Keys words: electronic devices, characterization, collection, final disposal.

Recibido: *10/06/2021*
Revisado: *20/07/2021*
Aprobado: *23/08/2021*

Los artículos de Environment & Technology se comparten con Licencia Creative Commons: CC BY-NC-ND

Introducción

En el mundo se ha venido evidenciando un crecimiento de los residuos de aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), como consecuencia del continuo avance tecnológico. Gracias a este avance, y a que la mayoría de los precios de los equipos son asequibles, hacen que el consumidor contribuya a la compra de estos productos ocasionando la alta generación de los residuos de estos aparatos eléctricos y electrónicos. El crecimiento se debe a factores como la introducción de nuevos métodos de venta que presentan las tiendas de distribución, lo cual conlleva a que los consumidores quieran cambiar sus aparatos electrónicos y eléctricos y los que ya existen desecharlos o desplazarlo a otro lugar del hogar o sitio de trabajo.

Existen varias clasificaciones de la RAEE, en el 2002 la Unión Europea hizo una división en diez categorías, entre los que se incluyen; grandes electrodomésticos, pequeños electrodomésticos, equipos informáticos y de telecomunicaciones, equipamiento de consumo, equipo de iluminación, herramientas eléctricas y electrónicas, juguetes, ocio y equipamiento deportivo, dispositivos médicos, instrumentos de vigilancia y control, dispensadores automáticos. Igualmente se cuenta con; la clasificación según código de colores que consta de: línea blanca, línea marrón y línea gris; estos colores surgieron de los colores que tienen los aparatos que pertenecen a línea correspondiente, por ejemplos en la línea blanca se encuentran las neveras y lavadoras, en la línea marrón se encuentran los equipos de consumo de audio y video como lo son los televisores, equipos de sonidos; y en la línea gris se encuentran los equipos de oficina como computadores, celulares, entre otros; sin embargo, de acuerdo con el diseño de los productos no se pueden clasificar por su color (Rodriguez, Gonzalez , Reyes, & Torres, 2013).

En Colombia en la generación de RAEE para el año 2014 se calcularon 252.000 toneladas que equivalen a 5,3 kg por habitante. El gobierno nacional estableció en el 2017 la política nacional de RAEE que recoge los principios, objetivos, componentes y acciones que estableció la ley 1672 del 2013. Esta política desarrolló 4 estrategias con un plazo de 15 años, las cuales buscan sensibilizar, educar, desarrollar y transferir la tecnología para el aprovechamiento de los residuos electrónicos y eléctricos, conformar esquemas de trabajo en el sector privado y plantear alianzas público-privadas para promover la gestión de la RAEE (Ministerio de Ambiente, 2017).

Si la gestión de los residuos electrónicos y eléctricos no se hace adecuadamente tiene un gran impacto en la salud humana y el ambiente ya que estos contienen metales pesados, contaminantes orgánicos persistentes y otras sustancias peligrosas. La ciudad de Montería no es ajena a esto, en 2012 se realizó una importante investigación sobre el impacto medioambiental de los desechos electrónicos en el sector salud privado de la ciudad, el cual mostró que el 89% de las empresas privadas del sector salud de la ciudad de Montería presentan falencias con respecto al tema de manejo de los desechos electrónicos, en su mayoría aunque se tiene algún grado de conocimiento de los perjuicios que causan los componentes de estos dispositivos al medio ambiente, no se preocupan por tener las estrategias necesarias para contribuir al mejoramiento de este tema que es algo que se está evidenciando cada día más en el entorno. (Gonzalez , Sanchez Mora, Luna Benitez, Negrete, & Jiménez Gómez, 2012)

El propósito principal de este trabajo es formular una propuesta para la gestión de residuos electrónicos en la zona centro área urbana de la ciudad de Montería (Córdoba), teniendo en cuenta la normatividad vigente.

Partiendo desde lo metodológico, el proyecto se desarrolla en diferentes fases; en primer lugar, está la fase de identificación de fuentes generadoras; como segunda fase se realizó la recopilación de información secundaria, tomando como referencia estudios similares que se han desarrollado a nivel mundial, y como tercera fase se formularon las estrategias para la adecuada gestión de los residuos eléctricos y electrónicos

Metodología

Para el desarrollo de la investigación fueron definidas tres fases que permitieron la implementación eficiente para la misma. Donde el componente metodológico tiene un enfoque de investigación mixto, una tipología de estudio descriptiva y diferentes métodos de estudio deductivo, inductivo, análisis y síntesis.

La primera fase del proyecto abarca la identificación de las fuentes generadoras; en la segunda fase se realizó una revisión bibliográfica de estudios similares con el fin de cuantificar la generación de residuos, y finalmente en la fase final se formulan las estrategias para la adecuada gestión de los residuos.

Fase 1. Identificación de fuentes generadoras.

En esta fase se realizaron las siguientes actividades.

- ✓ Revisión de la base de datos suministrada por la cámara de comercio de la ciudad de Montería, donde se seleccionó la muestra objeto de estudio teniendo en cuenta los locales que se encuentran registrado ante cámara de comercio que se dedicas a esta actividad ubicados en la zona centro de la ciudad de Montería.
- ✓ Diseño y validación del cuestionario.
- ✓ Aplicación de encuestas a las empresas vendedoras de productos eléctricos y electrónicos.
- ✓ Análisis estadístico de los datos obtenidos con la aplicación del cuestionario.

Fase 2. Cuantificación de generación de residuos.

- ✓ Revisión de estudios e investigaciones donde se realizó cuantificación y caracterización de RAEES y así obtener datos de referencia para la construcción de la línea base.
- ✓ Organización y análisis de la información recopilada.

Fase 3. Estrategias para la adecuada gestión de los residuos.

En esta fase se plantearon las estrategias de mejoramiento, partiendo de la línea base referente al manejo y disposición de los RAEE'S, mediante el análisis de las fuentes generadoras, manejo y disposición teniendo en cuenta el marco legal vigente del país.

Se plantean las siguientes estrategias:

- ✓ Definición de componentes de la estrategia.

✓ Formular las metas y objetivos o posibles estrategias para la adecuada gestión de los RAEE'S.

✓ Definir un informe donde se contemple las respectivas propuestas o alternativas para el manejo de los RAEE'S.

Resultados y discusión

Identificación de fuentes generadoras de residuos electrónicos.

Según su distribución se puede observar que el 4% de los locales corresponde a la comercialización de la línea gris que hace mención a los equipos de sonido, televisores y equipos de video, el 15% representa a la línea blanca que incluye los electrodomésticos que se utilizan para la cocina, el lavado, la refrigeración y ventilación y el 81% de los locales comerciales constituye la línea marrón que comprende una parte de la electrónica de consumo que abarca todos los equipos informáticos y de telecomunicaciones utilizados regularmente para el entretenimiento, las comunicaciones y la oficina. (Figura 1).

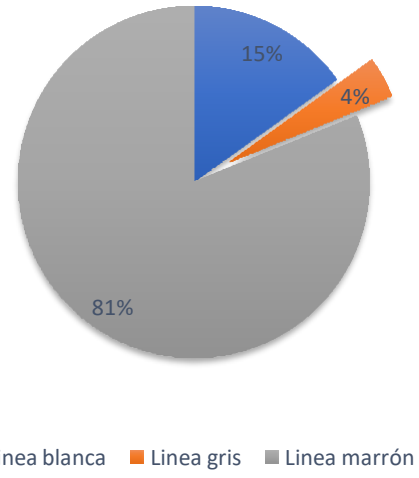


Figura 1. Tipo de producto que comercializan los locales. Fuente: María Conde,2020.

El término basura electrónica o RAEE es aún un poco desconocido por las personas que trabajan en los locales comerciales (Figura 2), debido a que el 34% de las personas respondieron que no tienen conocimiento sobre este término y el 66% afirman tener

conocimiento sobre el término, al momento de preguntarles como lo definirían dan una respuesta concreta sobre la definición del término. En los locales comerciales donde las personas si tienen conocimientos sobre este terminó el manejo que le dan a los RAEES generados es el adecuado debido a que realizan un mejor aprovechamiento; al no identificar claramente el terminó, incide en que no se clasifiquen de manera adecuada los residuos y no se reincorporen a un nuevo ciclo productivo, lo que va a generar más "basura electrónica".

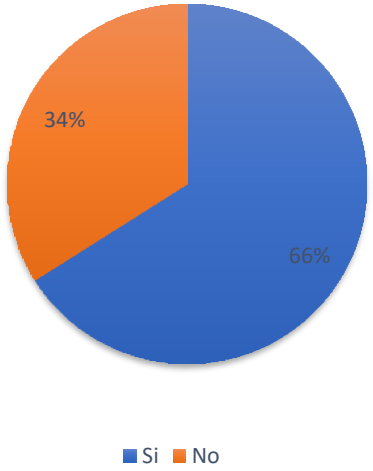


Figura 2. Conoce el termino basura electrónica o RAEE. Fuente: María Conde,2020.

Acorde a lo identificado por los generadores de residuos, el 47% indica que las baterías, piezas metálicas y cables son los desechos más comúnes, el 38% solo genera batería y piezas metálicas y el 15% genera cables (Figura 3). Las baterías desechadas de forma incorrecta, con el resto de los residuos, provocan un fuerte impacto ambiental y puede causar daños a la salud, estos residuos pueden alcanzar una temperatura de hasta 70° C, sufren un proceso corrosivo que ocasiona derrame de sus componentes interno, que al integrarse con el suelo o agua, contaminan el habitad volviéndolo tóxico. (Comunicación de sustentabilidad y RSE, 2013) El manejo que se le deben dar a las baterías es no exponerlas al sol, agua, calor, debido ya que de esta manera se ocasionan reacciones químicas con las sustancias que contiene, no mezclar diferentes tipos de baterías usadas y no quemarlas porque al realizarlo se emiten contaminantes peligrosos al aire.

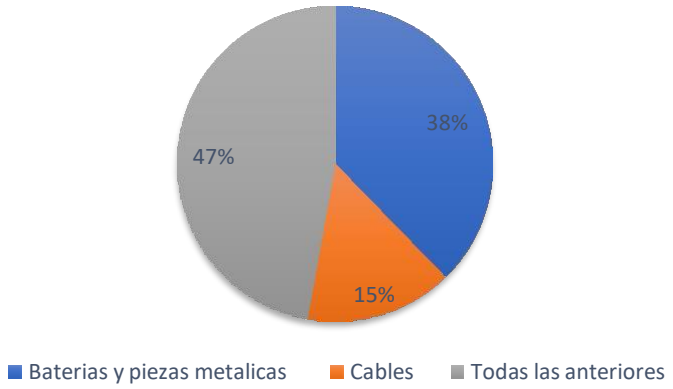


Figura 3. Clase de RAEE generados. Fuente: María Conde,2020.

En cuanto a la fase de recolección de residuos electrónicos y RAEE por parte de los generadores, se obtuvo que el 57% de los encuestados realizan esta recolección en sus almacenes y un 43% no la realizan; teniendo así que más de la mitad si realizan esta actividad (Figura 4). El sistema de recolección de los residuos se da luego de que se realiza el almacenamiento en los locales comerciales, los encargados de recolección y transporte en la mayoría se los locales se los entregan a recicladores, otro porcentaje lo realiza con la empresa EcoFuego como gestora de residuos especiales y peligrosos, y algunos los disponen para que el camión recolector de residuos ordinarios, perteneciente a la empresa de aseo público, los recoja, siendo esto último una mala disposición.

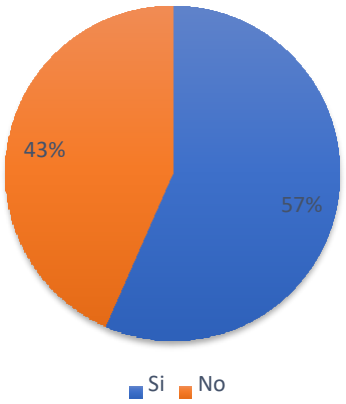


Figura 4. Recolección de RAEE en el almacén. Fuente: María Conde,2020.

De la encuesta se obtuvo que en el 19% de los locales objeto de estudio realizan la recolección con una frecuencia de una vez por semana, el 28% lo realiza quincenal y el 53% hace la recolección mensual (Figura 5). Esta frecuencia es adoptada de acuerdo con el volumen de residuos generados, y no obedece a un análisis o diseño de la etapa de almacenamiento de residuos.

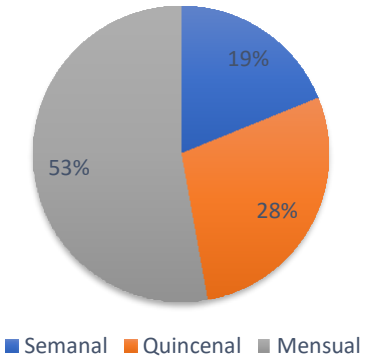


Figura 5. Frecuencia de recolección de RAEE. Fuente: María Conde,2020.

En el 47% de los locales se almacenan en promedio entre 1-10 Kg de residuos y el 53% en un rango de 11 a 20 kg (Figura 6). Este almacenamiento va ligado a la capacidad de los recipientes con que cuentan y de allí establecen de manera práctica la frecuencia de recolección de los RAEE, sin tener en cuenta criterios técnicos y ambientales, según el tipo de residuos generados y las características fisicoquímicas de los mismos, que puedan generar algún tipo de reacción por efectos de temperatura, humedad, entre otras variables.

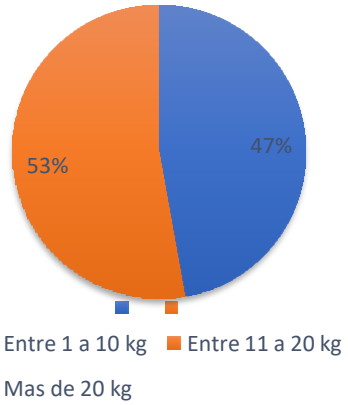


Figura 6.Cantidad promedio que se recoge. Fuente: María Conde,2020.

El 19% de los locales, depositan sus residuos en cajas de cartón, el 24% utilizan bolsas plásticas para almacenar, y el 57% en canecas plásticas. Los mejores recipientes para almacenar estos residuos son las canecas y las bolsas plásticas, debido a que en las cajas de cartón si por algún motivo se humedecen puede que esto conlleve a que se de alguna reacción en los residuos almacenados en ella (Figura 7).

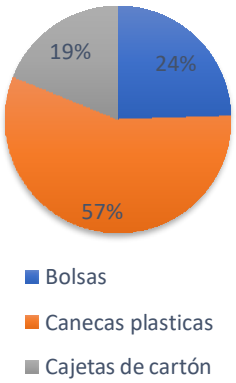


Figura 7. Lugar de almacenamiento. Fuente: María Conde,2020.

En los locales comerciales en los cuales se obtuvo una respuesta negativa en cuanto al almacenamiento y la recolección diferenciada de RAEE, el 43% manifestó que no está dispuesto a realizar la recolección o almacenamiento y el 57% si están de acuerdo en realizar la separación y almacenamiento de estos residuos en su local (Figura 8).

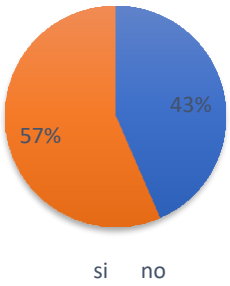


Figura 8. Disposición para realizar acopio de RAEE en el almacén. Fuente: María Conde,2020.

Al consultarle a los propietarios y/o vendedores de los locales comerciales, sobre el conocimiento o información, relacionada con las obligaciones que como comercializadores

de productos o aparatos eléctricos tienen, en la cual se incluye apoyo en la recolección y gestión ambientalmente segura de los RAEE, el 47% de los encuestados manifestaron que no poseen conocimiento y el 53% respondió que si tienen conocimiento sobre esta obligación como comercializador; la incidencia que tiene el conocimiento de las obligaciones como comercializadores se ve reflejada en la manera como realizan el almacenamiento y la disposición final de sus residuos. (Figura 9).

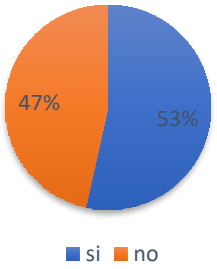


Figura 9. Conocimiento de su obligación como comercializador. Fuente: María Conde,2020.

Las personas que atienden los locales comerciales consideran en un 25% que la basura electrónica no afecta el ambiente y el 75% respondió que si piensa que la basura electrónica si afecta el ambiente (Figura 10). La mayoría de las personas que consideran que la basura electrónica no daña el ambiente no tienen claridad en el concepto de que es basura electrónica y que manejo se le debe dar a esta.

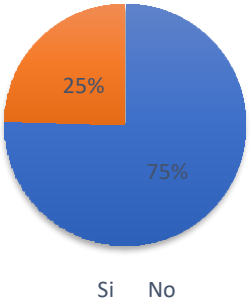


Figura 10. Piensa usted que la basura electrónica afecta el ambiente. Fuente: María Conde,2020.

Caracterización de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Debido a las medidas adoptadas por el Gobierno Nacional asociada a la pandemia por COVID – 19 no fue posible realizar la caracterización y cuantificación de los residuos en los locales comerciales. En ese sentido, se realizó una revisión bibliográfica de investigaciones y estudios similares donde se cuenta con datos de generación de RAEES, los cuales son tomados como referencia para la línea base y poder plantear alternativas de solución.

Como estudio de referencia se tiene "El diagnóstico del manejo de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en los distritos de Iquitos y Punchana (Pezo Guibin, 2018)", desarrollado en ciudad de México. La metodología utilizada en el estudio incluyó el diseño de encuestas y la evaluación del volumen generado de residuos sólidos de aparatos eléctricos y electrónicos en el sector público y privado. La muestra incluyó empresas formales e informales, incluyendo empresas comercializadoras de AEE (aparatos eléctricos y electrónicos), los talleres de reparación de aparatos electrónicos y eléctricos y al público usuario o consumidores de AEE que se encuentran en los distritos de Iquitos y Punchana de la ciudad de Iquitos. Los resultados obtenidos en este estudio arrojaron que la mayor cantidad de AEE que reciben los talleres de reparación con un porcentaje de 46.2% son los celulares, que estos a su vez generan 191 kg/mes de RAEE. El segundo tipo de AEE que más reciben los talleres de reparación son los televisores TRC cuyo promedio es de 196 unidades/mes que representa el 21.7%, generando aproximadamente 400 kg/mes de RAEE. En tercer lugar, se encontró a los equipos de sonido con un promedio de 87 unidades/mes que representa el 9.7% de la cantidad de AEE por taller en ambos distritos, generando 100 kg/mes RAEE. Las laptops o computadores portátiles tienen un promedio de 61 unidades/mes que es el 6.8% del total y genera alrededor de 115 Kg RAEE/mes. Las planchas con 36 unidades/mes que representa 3.9% de AEE que recibe un taller de reparación, con 15 kg/mes de RAEE. Los televisores LCD con 22 unidades/mes que representa el 2.4%, generando 45 kg/mes de RAEE. Los ventiladores con 20 unidades/mes que es el 2.2% del total de AEE recibido en un taller, generando 3 kg/mes de RAEE, siendo también el penúltimo en generación de RAEE por delante del horno eléctrico que genera 1 kg/mes de RAEE que es el 0.1% del total, con 3 unidades/mes que llegan a un taller de reparación para ambos distritos. Para el caso de las cámaras digitales y las refrigeradoras ambas cuentas con 18 unidades/mes, compartiendo un

2%, pero generan, para el caso de las cámaras digitales, 10 kg/mes de RAEE que es el 1.04% y para las refrigeradoras 60 kg/mes de RAEE que representa el 6.23% g. En ambos distritos la generación mensual de RAEE en talleres de reparación es de 963 kg aproximadamente. (tabla 1)

Tabla 1. Cantidad promedio, tipo de AEE y generación de RAEE al mes en talleres de reparación en Iquitos y Punchana.

Cantidad y tipo de AEE y RAEE mensual generado en los distritos de Iquitos y Punchana				
AEE	**Promedio AEE/Mes**	**% AEE/Mes**	**RAEE aproximado KG/Mes**	**% RAEE/Mes**
TELEVISORES TRC	196	21.70%	400	41.54%
TELEVISORES LCD	22	2.40%	45	4.67%
EQUIPO DE SONIDO	87	9.70%	100	10.38%
LAPTOP	61	6.80%	115	11.94%
IMPRESORA	25	2.80%	23	2.39%
CELULARES	417	46.20%	191	19.83%
REFRIGERDORAS	18	2.00%	60	6.23%
CAMARA DIGITAL	18	2.00%	10	1.04%
HORNO ELÉCTRICO	3	0.30%	1	0.10%
VENTILADOR	20	2.20%	3	0.31%
PLANCHA	36	3.90%	15	1.56%
TOTAL	**903**	**100%**	**963**	**100%**

Autor: Pezo Guibin, 2018

En la ciudad de Villavicencio, departamento del Meta, se realizó la caracterización de aparatos de residuos eléctricos y electrónicos en la ciudad para el año 2016 (Ruíz Durán, Moreno Tejedor, & Moreno Gutiérrez , 2017). La metodología utilizada en esta investigación fue cuantitativa, dado que se analizó y comprobó la información y datos sobre los residuos eléctricos y electrónicos mediante la aplicación de encuestas; la población objeto de estudio fueron las empresas formalizadas del área urbana de la ciudad de Villavicencio, la selección de estas empresas se dio mediante la información suministrada por la Cámara de Comercio de Villavicencio. En los resultados obtenidos se evidenció la falta de conocimiento en las empresas comercializadoras de Aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) sobre los residuos

que estos aparatos generan. Las empresas comercializadoras de Aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) no cuentan con el conocimiento necesario en cuanto al manejo adecuado de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónico (RAEE).

La caracterización permitió identificar la cantidad de Aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) que se llevan al mercado con facilidad de adquisición, la mediana empresa con un 55%, es la que más pone en el mercado Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) , seguida por la pequeña empresa que tiene el 31 % de abastecimiento al mercado, mientras que la empresa grande solo tiene el 14 % del suministro de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) en el mercado de la ciudad de Villavicencio, colocando en el mercado más de 100 unidades de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) por línea. Se evidenció la ausencia de sensibilización por parte de los productores y los consumidores, frente a la generación de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónico (RAEE) posterior al uso de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE), de acuerdo con la respuesta dada frente a la responsabilidad y el conocimiento referente a los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónico (RAEE). El estudio también concluye que existe ausencia de control y vigilancia sobre la disposición final de estos residuos, por parte de la autoridad ambiental. (Ruíz Durán, Moreno Tejedor, & Moreno Gutiérrez , 2017).

Conclusiones

Entre los puntos clave se observó el manejo que los locales comerciales le están dando a los RAEES que generan, donde se pudo destacar que la muestra de estudio (53 locales comerciales), de los cuales un 81% de los locales comerciales corresponde a la línea marrón comprendiendo una parte de la electrónica de consumo que engloba todos los equipos informáticos y de telecomunicaciones utilizados regularmente para el entretenimiento, las comunicaciones y la oficina. Siendo estos productos de mayor comercialización y consumo de equipos informáticos y de telecomunicaciones como celulares, portátiles, televisores, etc.

Abarcando que la mayor proporción de locales son de equipos informáticos y telecomunicaciones, se deduce que su mayor generación de residuos es proveniente de estos aparatos, como pueden ser baterías, cables, cargadores, piezas, etc., y siendo los de mayor venta y consumo indicando un gran número de proporción de generación de residuos. Con

el análisis se pudo obtener que los tipos de residuos que los locales comerciales generan son un 47% baterías, piezas metálicas y cables, un 38% baterías y piezas metálicas y un 15% solo cables, resumiendo que las baterías son los residuos más generados, dando soporte a la deducción con el análisis estadístico que estos productos al ser más comercializados generan más cantidad de estos tipos de residuos, siendo directamente proporcional, con dicho análisis es prioridad centrarse en buscar alternativas para su manejo, fabricación y todos los procesos que se requieran para reducir su impacto en el ambiente.

En termino de caracterización de estos residuos que se generan, se debió tener en cuenta que la presencia de la Pandemia del Covid-19 y acatando la norma de aislamiento no se realizó la caracterización correspondiente de estos en el área de estudio, por ende, se recurrió al análisis bibliográficos de estudios realizados en torno a la debida caracterización de los residuos electrónicos desde su análisis hasta las estrategias propuestas de solución en diferentes ámbitos a nivel global y nacional, donde se puede deducir que la mayoría de estos estudios se evidencia que en término de su análisis ambos estudios se detalla el uso de encuestas para determinar el conocimiento y manejo de los residuos, otros la aplicación de la caracterización mediante la determinación del volumen generado de residuos y medios cuantitativos que engloben todo en relación a los residuos de aparatos electrónicos, siendo todo esto eficaz para determinar conclusiones y dar alternativas de solución. Entre los puntos claves se observó que existe una falta de conocimiento en su manejo y disposición tanto por parte de los productores, comercializadores y consumidores, y que el mayor número de generación de residuos están comprendidos en gran parte por los equipos de las telecomunicaciones como televisores (400 kg/mes de RAEE), celulares (191 kg/mes de RAEE), y de entretenimiento como equipos de sonido (100 kg/mes de RAEE), entre otros; a su vez se destaca que se generan cierta cantidad de residuos peligrosos como plomo, cobre, zinc, los cuales se deben tener un buen manejo de estos desechos.

Debido a lo analizado se prioriza en la estructuración e implementación de estrategias de tipo social, económico y ambiental para el manejo de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEES), en su aspecto social el desarrollo de campañas divulgativas con el objetivo de fomentar compromiso social y ambiental respecto a dichos residuos, capacitación por medio de la entidad competente a los propietarios y comercializadores de estos productos,

indicando como se debe hacer el debido manejo, como aspecto económico implementar estrategias como la ampliación del ciclo de vida útil de los equipos mediante reparación y mantenimiento constante y así minimizar la producción de RAEES, el aprovechamiento de los respectivos residuos, al igual implementar puntos de acopios para estos residuos y como aspecto ambiental reducir el riesgo de generación de estos residuos peligrosos teniendo un constante relación con los otros aspectos de tipo social y económico, realizando productos que no requieran uso constante de baterías, cables, etc.

Para poder llevar a cabo todo es indispensable un trabajo conjunto desde el productor, el consumidor, punto de recolección o acopio hasta su debido tratamiento, al fallar alguno de estos no se logrará el buen manejo de estos residuos y su buen aprovechamiento, logrando reducir un impacto al medio ambiente.

Bibliografía

Comunicación de sustentabilidad y RSE. (junio de 2013). ¿Cuál es el manejo adecuado de las pilas usadas?. Recuperado de https://www.expoknews.com/cual-es-el-manejo-adecuado-de-las-pilas-usadas/

Gonzalez , A. J., Sanchez Mora, M. D., Luna Benitez, V. A., Negrete, M., & Jiménez Gómez, N. (2012). Impacto medioambiental de los desechos electrónicos en el sector salud privado de la ciudad de Montería - la otra cara de la tecnología (E-WASTE). Recuperado de http://e-waste2012.blogspot.com/

Ministerio de Ambiente (2017). Politica nacional Gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/gestion-integral-de-residuos-de-aparatos-electricos-y-electronicos-raee

Pezo, A. (2018). Diagnóstico del manejo de los residuos sólidos de aparatos electrónicos y eléctricos en los distritos de Iquitos y Punchana, en base a la Norma Técnica Peruana 900.064:2012. Iquitos – 2016. Recuperado de https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/5679

Rodriguez, L., Gonzalez, N., Reyes, L., & Torres, A. (2013). Sistema de gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Enfoque de dinámica de sistemas. *Sistemas & Telemática*, 11 (24), 39-53. Recuperado de https://www.redalyc.org/pdf/4115/411534392003.pdf

Roman, G. (2007). Diagnóstico sobre la generación de residuos electrónicos en México. Instituto Politécnico Nacional. México Recuperado de http://www2.inecc.gob.mx/descargas/sqre/res_electronicos_borrador_final.pdf

Ruíz, J., Moreno, L., & Moreno, A. (2017). Caracterización de aparatos de residuos eléctricos y electrónicos en la ciudad de Villavicencio Meta para el año 2016. Corporación Universitaria Minuto de Dios. Recuperado de https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/7036/UVD-TSO_RuizDur%C3%A1nJeimmyAlejandra_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Environment & Technology ISSN: 2711 4422
Vol. 2 No. 1 Enero-Junio,2021: 96-121
URL: https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/
DOI: https://doi.org/10.56205/ret.2-1.6

Control alternativo de *Fusarium oxysporum* Schltdl y *Pectobacterium carotovorum* (Jones) Waldee et al., mediante el uso de aceites esenciales como una alternativa biológica

Alternative control of *Fusarium oxysporum* Schltdl and *Pectobacterium carotovorum* (Jones) Waldee et al., by the use of essential oils as a biological alternative

Allison Stefanny Castro Monroy
Estudiante de Bacteriología y Laboratorio Clínico
Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca
allisonscastro@unicolmayor.edu.co
https://orcid.org/0000-0002-9536-0628
Bogotá D.C, Colombia.

Jovanna Acero Godoy
Candidata Doctora en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE)
Universidad Nacional de Costa Rica
jacerog@unicolmayor.edu.co
https://orcid.org/0000-0003-1656-6888
Costa Rica

Resumen

Los marchitamientos vasculares producidos por *Fusarium oxysporum* Schltdl y la podredumbre blanda bacteriana por *Pectobacterium carotovorum* (Jones) Waldee et al., son enfermedades de importancia para diferentes tipos de cultivos como hortalizas, frutas y cereales; ocasionando pérdidas económicas y por sobrevivir en el suelo por largos periodos de tiempo, por lo que su control es difícil. El uso de plaguicidas sintéticos ha sido la tradicional para combatirlos, las consecuencias a largo plazo por su acumulación en el medio han tomado relevancia. El uso de alternativas biológicas extraídas de plantas empieza a destacarse como un método alternativo de control. En esta revisión, se busca hacer una recopilación bibliográfica de la capacidad de los aceites esenciales extraídos de las plantas aromáticas, como tomillo, menta, clavo, entre otros, y sus efectos como posibles agentes de control de estos patógenos, sus capacidades antimicrobianas y antifúngicas, destacando a su vez su forma de acción, los métodos, y las concentraciones que han demostrado efecto sobre los patógenos descritos.

Recibido: *09/04/2021*
Revisado: *26/07/2021*
Aprobado: *23/08/2021*

Los artículos de Environment & Technology se comparten con Licencia Creative Commons: CC BY-NC-ND

Palabras clave: Control fitopatógeno; recopilación bibliográfica; plantas aromáticas; extractos de plantas; agentes de biocontrol

Abstract

The vascular wilts produced by *Fusarium oxysporum* Schltdl and the bacterial soft rot by *Pectobacterium carotovorum* (Jones) Waldee et al., are diseases of importance for different types of crops such as vegetables, fruits and cereals; causing economic losses and for surviving in the ground for long periods of time, which is why its control is difficult. The use of synthetic pesticides has been the traditional one to combat them, the long-term consequences of their accumulation in the environment have taken relevance. The use of biological alternatives extracted from plants is beginning to stand out as an alternative method of control. In this review, we seek to make a bibliographic compilation of the capacity of essential oils extracted from aromatic plants, such as thyme, mint, cloves, among others, and their effects as possible control agents of these pathogens, their antimicrobial and antifungal capacities, highlighting in turn its form of action, the methods, and the concentrations that have demonstrated an effect on the pathogens described.

Keywords: Phytopathogenic control; bibliographic compilation; aromatic plants; plant extracts; biocontrol agents.

Introducción

En el campo de la agricultura, el tratamiento y control de los fitopatógenos, requiere un estudio especial, principalmente en un tiempo en el que se busca no solo mejorar los cultivos y disminuir aquellos agentes que los afectan, sino a su vez cuidar el medio ambiente. Existen una gran variedad de patógenos desde bacterias hasta virus. Sin embargo, algunos generan mayor atención debido a su patogenicidad, sintomatología en la planta, y formas de tratamiento.

Una de las más destacadas es *Pectobacterium carotovorum* (Jones) Waldee et al., perteneciente a la familia de las *Enterobacteriaceae*, y conocida por ser patógena en una gran diversidad de cultivos como hortalizas, frutas, cereales y vegetales (Corzo-López & Quiñones-Pantoja, 2017; Cubero Agüero, 2019; Quintanilla, 2020). Este patógeno se describió inicialmente dentro del género *Erwinia*, en gran parte debido a su crecimiento en cultivo; sin embargo, gracias análisis moleculares se determinó que este género debería ser reclasificado en dos grandes grupos, de tal forma que, en el grupo I o verdaderas *Erwinias*, pertenecerían especies como *E. amylovora, E. maliotivora, E. persicinus, E. psidii, E. rhapontici* y *E. tracheiphila,* destacadas por provocar necrosis, marchitez; mientras que en el grupo II o grupo *carotovorum*, aquellas que se pueden identificar en las especies de *Pectobacterium carotovorum* (*Erwinia carotovorum*) y que provocan en las plantas pudriciones blandas o suaves (Quintanilla, 2020).

La bacteria *P. carotovorum* (Jones) Waldee et al., son bacilos Gram negativos, anaerobios facultativos, no esporulados móviles, con presencia de enzimas pectinolíticas (a excepción de *Pectobacterium cypripeddii*). Se destaca por, provocar la podredumbre blanda bacteriana (Corzo-López & Quiñones-Pantoja, 2017) del tubérculo y la pata negra de la planta; la primera se caracteriza por generar una lesión acuosa inicialmente pequeña, la cual presenta una conformación

suave, pálida y viscosa en su interior; presentando al tiempo un marchitamiento de la parte aérea de la planta lo que conlleva finalmente al marchitamiento total de la planta y su posterior muerte (Cubero Agüero, 2019; Quintanilla, 2020). Así mismo, es la especie más destacada de este género, debido a su amplia variedad de subespecies y hospedantes (*Solanum lycopersicum* L. (tomate), *Allium cepa* L. (cebolla), *Solanum tuberosum* L. (papa), *Persea americana* Miller (aguacate), *Sedum album* L. (arroz), *Tragopogon pratensis* L. (lechuga), entre otros). Se le reconoce como un tipo de patógeno oportunista dada su capacidad de vivir no solo en el tejido vegetal sino en el suelo, siendo transmitida a través de un tubérculo contaminado o residuos de cosechas, agua de riego, maquinaria agrícola (Padilla Galvez, 2017).

Del mismo modo, otros de los microorganismos de estudio agrícola por su elevada patogenicidad, son los hongos del género *Fusarium* spp. Link, pertenecientes al phylum *Ascomycota* y la familia *Nectriaceae* (Database, 2021). Estos son mayormente identificados como hongos de campo, puesto que poseen una gran capacidad para sobrevivir en materia orgánica y, a su vez, ser patógenos en aquellas plantas que se encuentran susceptibles a una infección por desbalance, provocando comúnmente la enfermedad del marchitamiento del cultivo (Edel-Hermann & Lecomte, 2019; López-Díaz et al., 2018). Son de los patógenos de gran relevancia agrícola, dado que las afecciones que provoca son generalmente de tipo irreversibles y su capacidad de sobrevivir por largos periodos de tiempo en el suelo, a través de estructuras fúngicas como micelio, clamidosporas, hace que pueda dispersarse con los movimientos de suelos infectados y aguas de aspersión (Edel-Hermann & Lecomte, 2019; López-Díaz et al., 2018; Retana et al., 2018; Yao et al., 2019).

No obstante, una de las especies que más auge ha tomado debido a su alto potencial patogénico es el *Fusarium oxysporum* Schltdl, reconocido por ser el agente causal de la marchitez vascular en especies de plantas como son: el *Solanum lycopersicum* L. (tomate), *Musa x paradisiaca* L. (plátano), *Gossypium* L. (algodón), *Saccharum officinarum* L. (caña de azúcar), *Fragaria x ananassa* Duchesne (fresas), *Tragopogon pratensis* L. (lechuga), granos y varias especies de leguminosas como *Cicer arietinum* L. (garbanzos), *Lens culinaris* Medicus (lentejas) (Amaral et al., 2017; Edel-Hermann & Lecomte, 2019). Este al igual que el *Pectobacterium* spp. Waldee descrito anteriormente, posee la capacidad de variar en cuanto a cepa de la misma especie según la planta a infectar, por lo que al nombre de la especie en algunos casos lo sigue la asignación

a *formae speciales* (f. sp.) (Gordon, 2017), por ejemplo: *cubense, cucumerinum, niveum, radicis-cucumerinum* y *lycopersici*, entre otros.

Es entonces, dada la importancia fitopatógena de estos dos microorganismos; *F. oxysporum* Schltdl y *P. carotovorum* (Jones) Waldee et al., surge la necesidad de identificar formas de protección vegetal basadas en controles alternativos que no ocasionen un impacto a gran escala en el ambiente. Aunque, se han utilizado biocontroladores a base de microorganismos sobre estos, como lo han sido el uso de *Bacillus amyloliquefaciens* Priest et al., *Pseudomonas aeruginosa* (J.Schröter) Migula, y *Trichoderma harzianum* Rifai; todos con capacidad de antagonismo al competir con estos microorganismos, por los nutrientes para la producción de metabolitos secundarios (Azaiez et al., 2018; Gerayeli et al., 2018; Palyzová et al., 2019); el uso de otros métodos de control como el uso de aceites esenciales extraídos de plantas, se detalla como una solución de impacto sobre algunos fitopatógenos.

Lo anterior, en razón de disminuir la huella a nivel agrícola del uso de sustancias químicas, debido en gran medida a las consecuencias a futuro de la acumulación de los mismos, tanto en las plantas como en el suelo, y de igual forma en el medio, los humanos como principales consumidores de gran variedad de estos cultivos, y a su vez, sobre aquellos microrganismos que se ven expuestos continuamente a estas sustancias, generando no solo una bioacumulación sino también una resistencia a los mismos. Dado lo anterior, la finalidad del conocimiento acerca de los aceites esenciales, y especialmente su actuación a nivel agrícola como controladores de hongos y bacterias; genera una solución ambiental amigable con el medio, con una oferta de sustancias químicas presentes en las mismas plantas, que permiten la identificación y desarrollo de mejores mecanismos de acción sobre patógenos agrícolas.

Gracias a la variedad de plantas y así mismo, de los componentes activos en las mismas con capacidad antimicrobiana y antifúngica, trabajando de la mano con la biotecnología vegetal, los aceites esenciales, se exhiben como un recurso ideal para el tratamiento de fitopatógenos. El objetivo de esta revisión fue realizar una recopilación general de algunos aceites esenciales usados sobre el *F. oxysporum* Schltdl y *P. carotovorum* (Jones) Waldee et al., su forma de acción, los métodos, y las concentraciones que han demostrado efecto sobre los patógenos descritos.

Patogenia de los microorganismos

a. Patogenicidad *F. oxysporum* Schltdl

La infección por este hongo, inicia en la raíz de la planta generando marchitez vascular, reducción del crecimiento, cambio de color de las hojas pequeñas a un tono amarillo y marchitamiento progresivo de hojas y tallos; provocando finalmente a la muerte de la planta (Amaral et al., 2017; Park et al., 2020; Yao et al., 2019). El mecanismo más reconocido para el daño vegetal se debe a su capacidad de secretar acido oxálico entre la membrana y la pared celular o el apoplasto, conllevando a una quelación de Ca^{2+} y debilitando así, no solo la pared vegetal, sino el sistema inmunológico de la planta, lo que permite al hongo segregar otras enzimas capaces de degradar la pared vegetal. Así mismo, se genera un desbalance en la osmoregulación celular al inhibirse el cierre de la estoma, generando la marchitez y la necrosis de las hojas (Amaral et al., 2017). Igualmente, se han descrito la presencia de algunos genes de patogenicidad asociados a la gravedad de la infección provocada por el *F. oxysporum* Schltdl sobre la planta como son genes *fga1*, *fga2* y *fgb1,* los cuales codifican a las subunidades α y β de la proteína G y el gen *FocVel1* que codifica a una proteína de terciopelo, junto con enzimas de degradación de la pared celular de las plantas (CWDE´s: cell wall degradation enzymes) y en destrucción de la defensa de las mismas (Huang et al., 2019). Como se presenta en la **figura 1**.

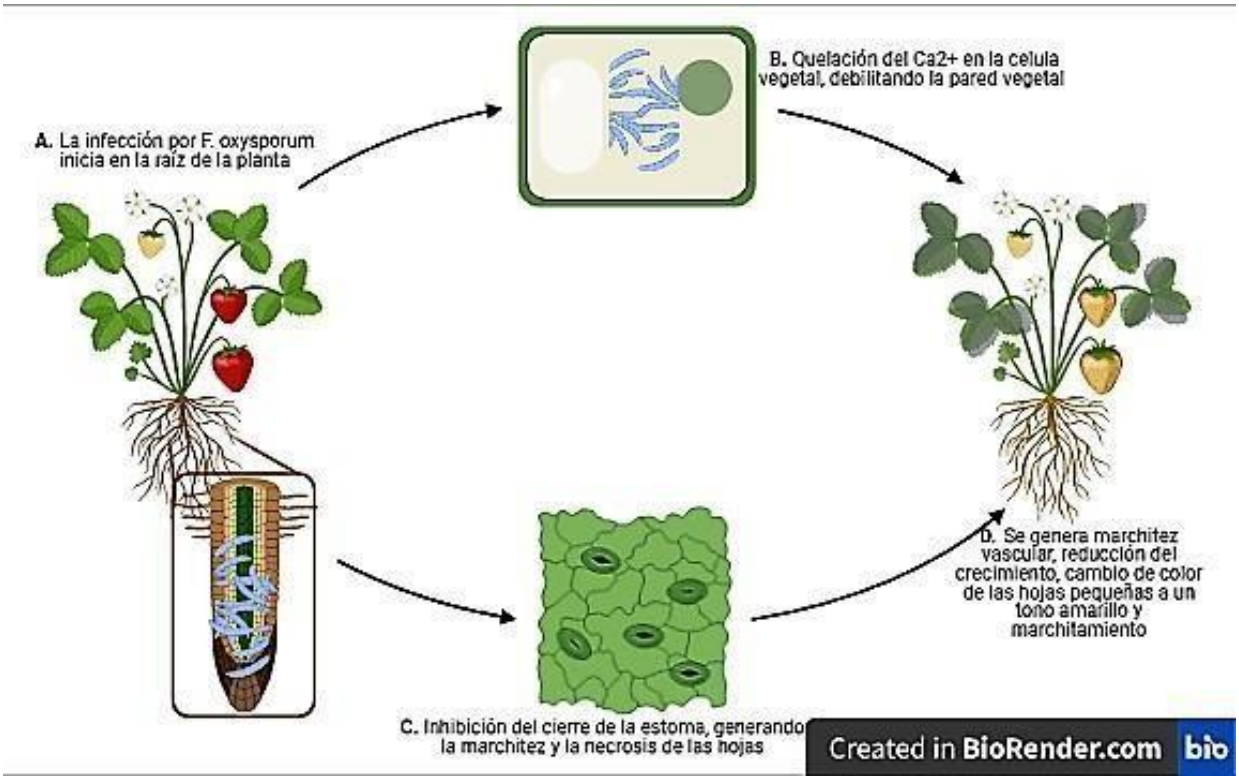


Figura 1. Ciclo de vida de *Fusarium oxysporum* Schltdl en cultivo de *Fragaria x ananassa* Duchesne (fresas). Fuente. Elaboración propia usando BioRender.

No obstante, no todas las subespecies de este hongo son patógenas, por lo que algunas de estas han sido usadas como supresoras del crecimiento y expresión genética de cepas patógenas de este mismo, esto a través de la producción de sesquiterpenos y otros compuestos orgánicos y; a su vez, estos mismos compuestos son capaces de inhibir el crecimiento de nematodos y otros hongos patógenos, un ejemplo de esto es la capacidad de reducir la enfermedad causada por agentes patógenos vasculares como *Verticillium dahliae* Klebahn y *Pythium ultimum Trow (de Lamo & Takken, 2020)*.

b. Patogenicidad *P. carotovorum* (Jones) Waldee et al.

La infección por esta bacteria inicia con el ingreso de la bacteria a la planta a través de una herida, como se presenta en la **figura 2**, cuando inicia con la activación de sus mecanismos de virulencia; basados en su capacidad de secretar una variedad de enzimas, especialmente pectinasas, enzimas degradadoras de la pared celular de las plantas (Cubero Agüero, 2019; Niemi et al., 2017), sumado a una variedad de proteasas, endoglucanasas, poligalacturonasas, pectato liasas y xilanasas (Niemi et al., 2017; Padilla Galvez, 2017), convirtiendo a las especies de *Pectobacterium* como patógenos altamente necrotróficos en plantas. La degradación celular, conlleva a la muerte celular y por ende, al marchitamiento de la planta, especialmente de la parte aérea de la misma, y su posterior muerte.

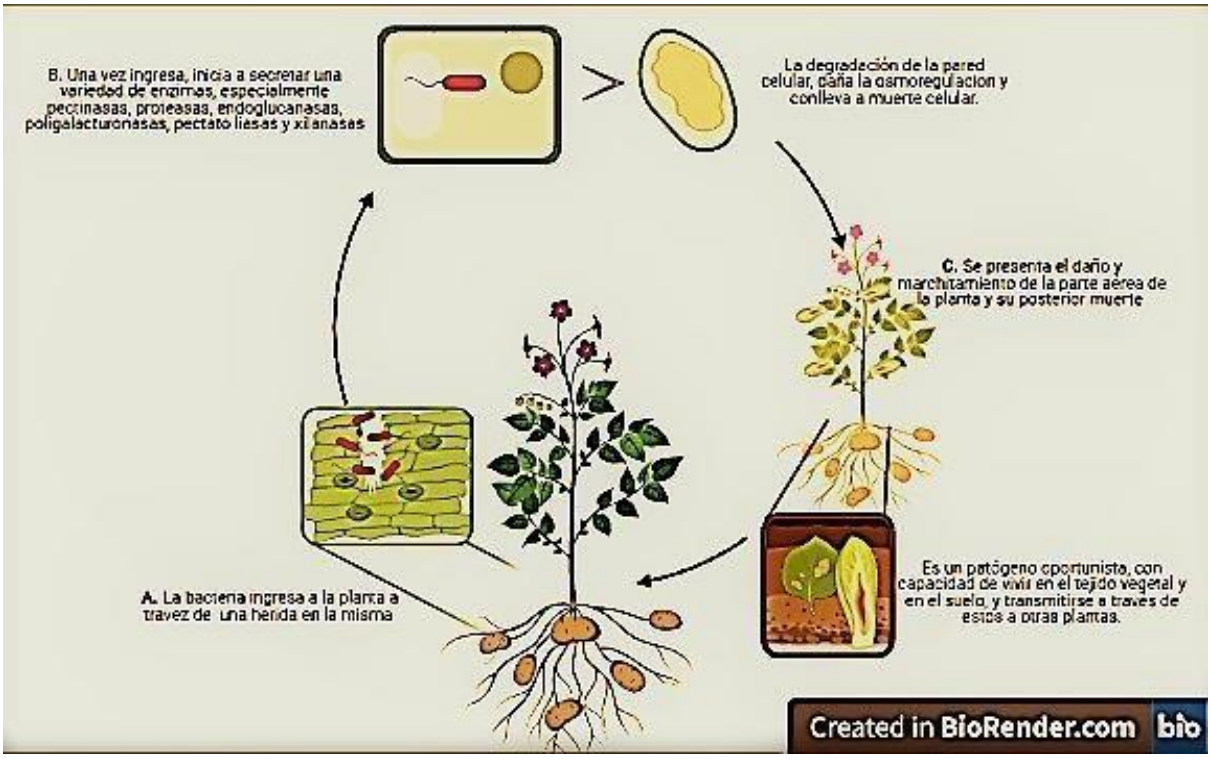


Figura 2. Ciclo de vida de *P. carotovorum* (Jones) Waldee et al. Fuente. Elaboración propia usando BioRender.

Es dada esta misma capacidad de degradación celular y marchitamiento agresivo de los cultivos identificado en ambos organismos, que la idea de poder utilizar mecanismos derivados de las plantas para su control y tratamiento que los aceites esenciales y sus propiedades controladoras, toman relevancia e importancia.

Aceites esenciales

Los aceites esenciales (AE) provienen del metabolismo secundario de las plantas, y son principalmente obtenidos de las plantas aromáticas; estos son compuestos químicos incoloros, volátiles, líquidos, solubles en lípidos y solventes orgánicos. Caracterizados por ser mezclas complejas de hasta más de 100 componentes en concentraciones variables entre ellos y según la planta de la que se obtienen. Aunque poseen dos o tres componentes principales, los cuales están en una concentración más alta en comparación con los demás (entre un 20-70%). Entre sus principales compuestos se encuentran: compuestos alifáticos de bajo peso molecular (alcanos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y ácidos), terpenos (monoterpenos, sesquiterpenos) y fenilpropanos (Acero-Godoy et al., 2019; Aguilar – Veloz et al., 2020; Allenspach et al., 2020;

Aziz et al., 2018; Chouhan et al., 2017; Moghaddam & Mehdizadeh, 2016; Nazzaro et al., 2017; Raveau et al., 2020). A pesar de esto, su importancia se debe a la baja toxicidad que generan sobre los seres vivos, en contraste con compuestos químicos de uso controlador.

Métodos de extracción

Se han identificado varios métodos de extracción de AE, los cuales se han dividido en dos grandes grupos, aquellos métodos convencionales y los nuevos o innovadores. En el primer grupo, se destacan métodos como son la hidrodestilación, la destilación al vapor y la extracción con solventes, por el contrario en el segundo grupo, se encuentran metodologías como la extracción con fluidos supercríticos, ultrasonido y la extracción asistida por microondas y óhmicas (Aziz et al., 2018; Gao et al., 2017; Pavlić et al., 2020; Roohinejad et al., 2017; Stratakos & Koidis, 2016).

En cuanto a los métodos convencionales, la hidrodestilación (HD), corresponde a una destilación heterogénea, en el que, dependiendo del material vegetal a usar, puede tomar 3-6 horas el procedimiento, aunque su mayor ventaja, es que no se usan disolventes químicos, lo que mejora el rendimiento y la composición exacta de los AE. Sin embargo, se han derivado diferentes modificaciones para el mejoramiento de este método como son, la adición de la trituración del material vegetal durante la destilación para aumentar el nivel de AE; el uso de aditivos como sales (principalmente el cloruro de sodio); el pre tratamiento del material vegetal con enzimas como celulasas, hemicelulasas, xilanasa, pectinasas o proteasas con el fin de inducir una mejor ruptura de las paredes celulares; no obstante esta última modificación, aún se encuentra en estudios, pues genera una mayor oxidación de algunos compuestos de los AE; y finalmente, el uso de polisorbatos (como el Tween 80) que promueven la formación de micelas, que mejoran la recuperación de AE (Aziz et al., 2018; Oktavianawati, 2020; Pavlić et al., 2020; Roohinejad et al., 2017).

Por otro lado, el uso de solventes suele utilizarse para la extracción de AE que son térmicamente lábiles. Si bien, los disolventes más usados son alcohol, hexano, etanol, acetona, éter de petróleo, metanol e incluso agua, es el hexano el más destacado debido a su alta volatilidad (Abdel-Hameed et al., 2020; González-Fernández et al., 2020; Mohseni & Rad, 2018). Una de las mayores ventajas de este tipo de extracción, es que no se exponen los AE a altas temperaturas durante el proceso, lo que disminuye la formación de cambios químicos sobre sus componentes. Finalmente, la destilación al vapor es el método más usado y conocido, puesto que es el más sencillo, en comparación con los anteriormente mencionados.

No obstante, expone al AE a mayor cantidad de modificaciones químicas debido a la exposición prolongada de los compuestos a altas temperaturas por largos periodos de tiempo (1-10 horas), por lo que en algunos casos es necesaria una re-destilación, es por esto, que se han realizado al igual que con la hidrodestilación modificaciones para mejorar esta metodología, como son tratamientos previos con enzimas degradadoras de la pared celular y calentamiento asistido por microondas; los cuales mejoran la calidad de los AE y evitan las modificaciones químicas (Oktavianawati, 2020; Roohinejad et al., 2017; Stratakos & Koidis, 2016).

De igual importancia, entre los métodos nuevos se puede destacar la extracción con gases supercríticos; es una de las alternativas más destacadas, dada las condiciones que requiere, como el uso de bajas temperaturas, y una mayor difusión de este con el material vegetal, lo que disminuye el tiempo de extracción en contraste con los métodos convencionales, y sumado a esto, es menos nocivo para el ambiente, pues se utiliza comúnmente el dióxido de carbono como principal fluido, o en otros casos no requiere el uso de altas cantidades de disolventes orgánicos para la extracción (Bendif et al., 2018; Haloui & Meniai, 2017; Zermane et al., 2016).

Asimismo, el uso de ultrasonido permite a través de ondas sonoras la generación de burbujas de cavitación que al estallar rompen estructuras y permiten la liberación del AE, y si bien promueve grandes ventajas como la no formación de otros compuestos a los deseados, además de una reducción en el tiempo de extracción, su mayor desventaja es el costo (Aziz et al., 2018; Hu et al., 2020; Koubaa et al., 2016; Stratakos & Koidis, 2016; Zhong et al., 2018). Por otro lado, el uso de microondas, permite debido a su mecanismo de calentamiento único un mayor rendimiento en la extracción, el tiempo y la homogenización de la temperatura (Al Mamoori & Al Janabi, 2018; Haffizi et al., 2020; Hakimi et al., 2019; Ibrahim & Zaini, 2018; Liu et al., 2018; Zeković et al., 2017).

De mismo modo, se encuentra el calentamiento óhmico, basado en una forma de tratamiento térmico, en el que al disiparse energía eléctrica a través del material vegetal se genera calor, que permite la liberación de los AE (Aamir & Jittanit, 2017; Gavahian et al., 2020; Gavahian & Farahnaky, 2018; Kaur & Singh, 2016).

A pesar de las grandes ventajas de estas nuevas metodologías, lo que más se ha manifestado es el uso combinado de los métodos convencionales con estos innovadores. Como lo es el uso de hidrodestilación y la extracción con solventes asistidos con microondas, ultrasonido y óhmica, metodologías que han demostrado grandes beneficios para la extracción de aceites esenciales

especialmente para mejorar o conservar su capacidad antimicrobiana, antifúngica, antiviral (Che Radzi & Kasim, 2020; Elyemni et al., 2019; Gao et al., 2017; Gavahian et al., 2017; Hashemi et al., 2017; Hu et al., 2020; Koubaa et al., 2016; Kusuma & Mahfud, 2017; Pavlić et al., 2020; Sarah & Estherina, 2020; Seidi Damyeh et al., 2016; Seidi Damyeh & Niakousari, 2017; Yamamoto et al., 2019), además de ser una combinación amigable con el ambiente, pues la complementariedad entre las metodologías reduce el gasto de energía y materiales, especialmente en el uso de disolventes.

Aceites esenciales como alternativas de biocontrol

El mecanismo de acción de los AE sobre los microorganismos, está definido en gran parte a los derivados oxigenados que poseen en diferentes concentraciones, los cuales son responsables de las actividades biológicas y fisiológicas, entre los que se destacan procesos como son la inhibición de la formación de la pared celular y daño en la membrana celular al inhibir la síntesis de ergosterol en el caso de los hongos; así como una afectación de las mitocondrias fúngicas al inhibirse el transporte de electrones en esta.

De igual forma, una inhibición sobre la división celular, la síntesis de proteínas y material genético y la inhibición de las bombas de eflujo, tanto en hongos como en bacterias (Chouhan et al., 2017; Nazzaro et al., 2017; Plavsic et al., 2020; Raveau et al., 2020). También, se ha destacado la capacidad de inhibir la formación y estructura de biopelículas formadas tanto por bacterias como por levaduras, al dañar el desarrollo de flagelo en algunas bacterias impidiendo su movilidad lo que tiene un efecto sobre la adhesión celular y de esta forma la actividad metabólica de los microorganismos (Cáceres et al., 2020) y a su vez en la interacción célula-célula. Acción similar se provoca sobre los genes que sintetizan micotoxinas, sobre los cuales actúan los AE y disminuyen su producción como pasa sobre la aflatoxina (Nazzaro et al., 2017).

Aceites esenciales con efecto sobre *F oxysporum* Schltdl

Si bien el tema de los aceites esenciales ha tomado auge en los últimos años como una forma menos nociva de atacar a fitopatógenos en cultivos, sus estudios aún son limitados sobre ciertos patógenos. En el caso de este hongo, se ha evaluado el alcance inhibitorio de aceites provenientes del clavo, limoncillo, albahaca, tomillo, menta, laurel y orégano, por sus destacadas actividades antifúngicas. Como se evidencia en algunos estudios en el que el uso del AE de clavo, menta y limoncillo afectaba el crecimiento micelial de este hongo (Sharma et al., 2017); acerca de este, el

AE de clavo destaco por su alta concentración de eugenol, de la misma forma, en un estudio en 2020 (Muñoz Castellanos et al., 2020), fue el AE de clavo, el que mostro actividad antifúngica sobre el *F. oxysporum* Schltdl, en ambos estudios, se destaca la acción de este compuesto principalmente sobre la membrana, al desnaturalizar proteínas y reacciona con los fosfolípidos que constituyen la membrana celular.

Respecto a otro estudio fueron los AE de albahaca y tomillo, quienes presentaron mejor acción antifúngica sobre el hongo en concentraciones de nanoemulsiones más bajas de los usados en el estudio, registrando la inhibición del crecimiento radial del hongo como una inhibición micelial del mismo (Hassanin et al., 2017). En este caso, el AE de albahaca presento entre sus principales componentes linalol, 1,8-cineol y eugenol; sin embargo, al igual que el anterior destaco que es el eugenol el componente con más actividad al alterar la membrana celular y las estructuras de la pared celular.

En cuanto a los AE de laurel y menta, en un estudio, estos AE actuaron sobre los microorganismos *Fusarium moniliforme* Nirenberg, *Fusarium solani* (Martius) L. Lombard & Crous, *F. oxysporum* Schltdl y *Stemphylium solani* G.F.Weber, destacando con eficiencia la capacidad fungicida del AE de la menta en una concentración de 0,5% sobre el aceite de laurel a la misma concentración (Goudjil et al., 2016), en gran parte debido a la elevada presencia de mentol, carvona y limoneno, en el AE de menta, y que ha demostrado tener actividad sobre la membrana de los microrganismo y a su vez generar una pérdida de homeostasis conllevando a la muerte del mismo.

Este estudio en yuxtaposición con uno realizado en 2019, en el que a través de halos de inhibición y a una concentración de 1.50 ± 0.20 µg/mL, el AE de la menta destacaba como controlador del crecimiento del hongo, igualmente relacionado a la presencia elevada de mentol (Desam et al., 2019). En la **tabla 1**, se presentan los anteriores estudios de sensibilidad sobre este hongo bajo la acción de algunos aceites esenciales, enfatizando la planta, el método utilizado en estos, junto con la concentración mínima de aceite esencial que mostro capacidad de acción sobre este, además de su acción y porcentaje de inhibición.

Sin embargo, acerca de patógenos fúngicos, aunque han hablado del género Fusarium spp. Link, muy pocos enfatizan en un fitopatógeno tan destacado como el F. oxysporum Schltdl, especialmente en un país como Colombia en el que este hongo ha comenzado a afectar gran

cantidad de cultivos de alimentos. En cuanto a los AE reportados con capacidad antifúngica, existen pocos reportes de investigaciones basadas en especies de plantas nativas del país.

Tabla 1.

Aceites esenciales usados sobre F. oxysporum Schltdl

ACEITES ESENCIALES USADOS PARA CONTROL DE *FUSARIUM OXYSPORUM*						
Aceite Esencial		**Método**	**CMI [a]**	**Acción**	**% Inhibición [b]**	**Referencia**
Nombre científico	**Nombre Común**					
Syzygium aromaticum L.	Clavo	Microdilución	125 ppm	Inhibición micelial	100%	(Sharma et al., 2017)
Mentha x piperita L.	Menta		500 ppm			
Cymbopogon citratus DC.	Limoncillo		250 ppm			
Ocimum basilicum L.	Albahaca	Placa (Agar PDA modificado con AE)	4.000 ppm	Inhibición micelial	100%	(Hassanin et al., 2017)
Thymus vulgaris L.	Tomillo		2.000 ppm			
Thymus vulgaris L.	Tomillo	Placa (Agar PDA modificado con AE	800 μLL^{-1}	Actividad fungicida	100%	(Moghaddam & Mehdizadeh, 2020)
Laurus nobilis L.	Laurel	Placa (Agar PDA modificado con AE)	0,5%	Actividad fungistática	>80%	(Goudjil et al., 2016)
Mentha x piperita L.	Menta		0.5 %		100%	
Mentha x piperita L.	Menta	Difusión en disco (Halo de inhibición) y Microtitulación (CMI)	1.50 ± 0.20 µg/mL	Inhibición crecimiento (Halo de inhibición: 30,12 ± 0,12 mm)	-----	(Desam et al., 2019)

Origanum vulgare L.	Orégano	Placa	400 - 1000 µg mL^{-1}	Actividad fungistática	-----	(Gonçalves et al., 2021)
Eugenia caryophyllata L.	Clavo	Placa (Agar PDA modificado con AE)	500 ppm	Actividad fungicida	100%	(Muñoz Castellanos et al., 2020)
Boesenbergia pulcherrima W.	-----	Placa (Agar PDA modificado con AE)	69,45 ppm	Actividad fungistática	-----	(Park et al., 2020)

Fuente: elaboración propia

Nota: CMI: (Concentración mínima inhibitoria) [a], % Inhibición [b]: Porcentaje de inhibición

Desde el AE de tomillo, un estudio en 2020, destaco su actividad antifúngica sobre *F. oxysporum* Schltdl, debido a la elevada concentración que presenta este en compuestos monoterpenos oxigenados como el timol e hidrocarburos monoterpenos como el ρ-cimeno, dada la capacidad de estos para actuar sobre la membrana celular e inhibir los procesos respiratorios celulares, junto con la inhibición de síntesis de enzimas intracelulares y extracelulares (Moghaddam & Mehdizadeh, 2020). El AE de orégano, en un estudio presentado en 2021, destaco su actividad fungistática, dada la composición en monoterpenos principalmente el carvacrol en este aceite, el cual actúa sobre el ergosterol, lo que conlleva a la alteración de la membrana celular, y a su vez interrumpiendo la homeostasis y supervivencia celular (Gonçalves et al., 2021).

Respecto a la especie *Boesenbergia pulcherrima* Wall, en un estudio en 2020, su efecto sobre el *F. oxysporum* Schltdl, no solo se estudió con el AE completo, sino que además; se revisó cada componente de este AE como lo son el metil eugenol, metil isoeugenol, elemicina, 1,2,4-trimetoxi-5-vinilbenceno y compuestos α-asarona, por separado sobre el hongo para identificar de manera adecuada cual era el que presentaba mejor acción; en este caso fueron la α-asarona y la elemicina, los que destacaron al actuar sobre la membrana celular (Park et al., 2020). Actualmente, se han mostrado investigaciones sobre este hongo usando AE de *Salmea scandens* L., el cual mostro, una inhibición mayor sobre el hongo al ser extraído por el método de maceración-acetona, su alto desempeño se asoció a la presencia de altos niveles de compuestos como germacreno D, elemol (Marina et al., 2021).

Aceites esenciales con efecto sobre *P. carotovorum* (Jones) Waldee et al.

En el caso de esta bacteria, los estudios realizados con aceites esenciales de orégano son mayores, principalmente porque esta bacteria posee la capacidad de generar biofilm y activar señalización a través de Quorum sensing (QS), y el carvacrol (uno de los principales componentes del aceite esencial del orégano) ha demostrado una alta acción inhibitoria sobre la formación de biopelículas. En uno de los experimentos se logró destacar que a una concentración de 0,66 mM se lograba disminuir la carga superficial bacteriana y de esta forma su potencial de adhesión, motilidad y la síntesis de polisacáridos (Gutierrez-Pacheco et al., 2018).

En otro estudio, este compuesto demostró a su vez que adicional a las características ya descritas sobre la bacteria, este modificaba el nivel de virulencia de la cepa bacteriana, además de influir en la expresión génica que están relacionados directamente con la formación del QS (Joshi et al., 2016). Así mismo, se destaca el estudio realizado en 2021 con el AE de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., y su capacidad de actuar sobre la formación de biofilm y a su vez bloquear los cambios metabólicos que se presentan en las células que lo conforman (Nazzaro et al., 2021), exhibiendo un porcentaje de inhibición sobre el *P. carotovorum* (Jones) Waldee et al. de 63.06%.

Si bien se conoce el poder del carvacrol sobre la formación de biopelículas, no se ha estudiado la actividad del aceite de orégano proveniente de plantas como *Lippia origanoides* Kunth propias del país, por lo que se recomendaría el estudio de estos y su composición química como posibles controladores biológicos en el país; de igual forma, el abarcar y aumentar el campo de revisión de varios aceites sobre este potencial fitopatógeno.

Sobre esta bacteria, los estudios han estado centrados principalmente en el uso de aceites del árbol de té, eucalipto, ciprés de Monterrey, como se puede observar en la **tabla 2**, en la que se presentan los anteriores estudios detallándose algunas características como en la tabla 1.

Tabla 2.

Aceites esenciales usados sobre P. carotovorum (Jones) Waldee et al.

ACEITES ESENCIALES USADOS PARA CONTROL DE *PECTOBACTERIUM CAROTOVORUM*						
Aceite Esencial		**Método**	**CMI [a]**	**Acción**	**% Inhibición [b]**	**Referencia**
Nombre Científico	**Nombre Común**					
Leptospermum petersonii F.M.Bailey	Árbol de te	Placa	5.0 µg/mL	Actividad Antibacteriana	------	(Caputo et al., 2020)

Eucalyptus gunnii H.	Eucalipto		2.0 µg/mL			
Corymbia citriodora H.	Eucalipto limón	Microdilución	0.16 ± 0.01d	Actividad antibacteriana	------	(Salem et al., 2018)
Eucalyptus camaldulensis D,	Eucalipto rojo	Difusión en disco (Halo de inhibición) y Microtitulación (CMI)	4.000 µg/mL	Inhibición crecimiento (Halo de inhibición: 20.00 ± 1.00 mm)	Actividad bacteriostática	(EL-Hefny et al., 2017)
Callistemon viminalis (Sol. ex Gaertn.) G. Don (Extraído con n-butanol)	Calistemón llorón			Inhibición crecimiento (Halo de inhibición: 18.33 ± 0.58 mm)		

Fuente: elaboración propia

Nota: CMI: (Concentración mínima inhibitoria) [a], % Inhibición [b]: Porcentaje de inhibición

El AE del árbol de té y eucalipto, en la investigación realizada en 2020 por Caputo y colaboradores, resalto la presencia de 1.8-cineol e hidrato-acetato de trans-sabineno en el AE de eucalipto, al presentar una acción sobre la membrana e inhibir la formación y síntesis de biopelículas (Caputo et al., 2020). En cuanto al AE de eucalipto de limón, su actividad antibacteriana corresponde inicialmente a los compuestos citronella y el citronelol, dos monoterpenos con capacidad de actuar sobre la membrana (Salem et al., 2018). Respecto al eucalipto rojo y el calistemón llorón, frente a esta bacteria, se destacó las concentraciones que presenta el primero en éster metílico del ácido 8-noninoico, alcanfor, mentol, 1,8-cineol (eucaliptol) y acetato de isobornilo; los cuales presentan actividad sobre la membrana celular al desestabilizarla; y concentraciones de ácido palmítico, ácido 2-hidroximirístico, 5-hidroximetilfurfural, ácido shikímico, 4- O-α- d -galactopiranosil- α- d – glucopiranosa en cuanto al segundo AE, que al igual que los compuestos descritos su acción potencial es sobre la membrana celular (E-Hefny et al., 2017).

Si bien se han realizado estudios sobre *P. carotovorum* (Jones) Waldee et al., poco se ha logrado mostrar sensibilidad de esta bacteria a algunos AE, su alto potencial patógeno, junto con su capacidad de formación de biofilm, hacen de esta una bacteria con alta capacidad de resistencia a AE como a los de *Ferulago angulata* (Schltdl.) Boiss, *Callistemon viminalis* (Sol. ex Gaertn.) G.

Don (calistemon llorón) extraído con acetona, los cuales no logran inhibir ni controlar el crecimiento de este fitopatógeno (EL-Hefny et al., 2017; Moghaddam et al., 2018). En cuanto a los aceites de extractos de madera y corteza de *Picea abies* (L.) Karsten y *Larix decidua* Miller, la actividad sobre esta bacteria es moderada (EL-Hefny et al., 2017).

Sin embargo, en un estudio reciente, con AE de *Myrtus communis* L. y *Ferula gummosa* Boiss, se observó una alta capacidad de inhibición usando discos impregnados con 10 mg del aceite (Hajian-Maleki et al., 2021), en donde estos dos registraron halos de inhibición fuertes mayores a ≥ 20 mm, sobre dos cepas de *P. carotovorum* (Jones) Waldee et al.

Cabe destacar que en la mayoría de los estudios sobre las propiedades antifúngicas y antibacterianas de los aceites de la menta y el orégano suelen realizarse con el extracto puro o una emulsión a gran escala, lo que modifica las concentraciones de algunos de sus componentes con mayor actividad conocida. Es por esto que se ha buscado la manera de mejorar las propiedades de los aceites, usando menos proporción de estos a través de nanoemulsiones. Se ha reportado que la estabilidad de la emulsión mejora al usar partículas más pequeñas, lo que mejora la penetración del mismo a través de la membrana celular, desestabilizando la membrana y la osmolaridad celular, e incluso, se reportó una actividad sobre la inhibición de la producción de esporas. Sin embargo, estos estudios se han llevado a cabo con aceites de tomillo y albahaca (Deryabin et al., 2019), aunque/no obstante en otro estudio realizado sobre Fusarium graminearum Corda, las nanoemulsiones de aceite esencial de clavo fueron las que demostraron no solo la capacidad de inhibir el crecimiento del patógeno, sino de evitar la aparición de micotoxinas (Hassanin et al., 2017).

Conclusiones

Es de este modo, como se evidencia a través de la revisión de este artículo que los aceites esenciales presentan un buen control microbiano y fúngico a nivel de laboratorio como se muestra en las tablas en donde es posible comparar a nivel in vitro en pruebas en placa (en su mayoría). Sin embargo, aún hace falta llevar y evidenciar este potencial y sus concentraciones adecuadas a nivel de campo, no dejando de destacar que aun con lo anterior, los AE presentan un mecanismo de acción bastante elevado y eficaz sobre este caso, los dos microorganismos estudiados.

La mayoría de las investigaciones realizadas sobre la actividad biológica de ciertos aceites esenciales se han enfocado en patógenos bacterianos productores de afecciones y enfermedades

en cultivos. Respecto al *P. carotovorum* (Jones) Waldee et al., aunque se han destacado reportes en el país sobre su afección especialmente sobre cultivos de cebolla y papa, las investigaciones acerca del efecto de aceites esenciales no han sido revisadas tan a fondo.

Literatura Citada

Aamir, M., & Jittanit, W. (2017). Ohmic heating treatment for Gac aril oil extraction: Effects on extraction efficiency, physical properties and some bioactive compounds. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *41*, 224–234. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.03.013

Abdel-Hameed, E. S. S., Al-Thbity, S. M., & Gobouri, A. A. (2020). Chemical composition, antimicrobial and anticancer activities of essential oils extracted from Nankah seeds usingconventional,microwave assisted hydrodistillation and solvent extraction methods. *International Journal of Pharmaceutical Research*, *12*(sp1), 846–856. https://doi.org/10.31838/ijpr/2020.SP1.133

Acero-Godoy, J., Guzmán-Hernández, T., & Muñoz-Ruíz, C. (2019). Revisión documental de uso de los aceites esenciales obtenidos de Lippia alba (Verbenaceae), como alternativa antibacteriana y antifúngica. *Revista Tecnología En Marcha*, *32*(1), 3–11. https://doi.org/10.18845/tm.v32i1.4114

Aguilar-Veloz, L., Calderón-Santoyo, M., Vázquez González, Y., & Ragazzo-Sánchez, J. (2020). Application of essential oils and polyphenols as natural antimicrobial agents in postharvest treatments: Advances and challenges. *Food Science & Nutrition*, *8*(6), 2555–2568. https://doi.org/10.1002/fsn3.1437

Al Mamoori, F., & Al Janabi, R. (2018). RECENT ADVANCES IN MICROWAVE-ASSISTED EXTRACTION (MAE) OF MEDICINAL PLANTS: A REVIEW. *International Research Journal Of Pharmacy*, *9*(6), 22–29. https://doi.org/10.7897/2230-8407.09684

Allenspach, M., Valder, C., & Steuer, C. (2020). Absolute quantification of terpenes in conifer-derived essential oils and their antibacterial activity. *Journal of Analytical Science and Technology*, *11*(1), 12. https://doi.org/10.1186/s40543-020-00212-y

Amaral, D., Pinto, N., Souza, V., Aragao, F., & Santos, M. (2017). Control of Fusarium oxysporum infection in transgenic tobacco carrying oxalate descarboxilase gene. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, *5*(1), 079–083. https://doi.org/10.7324/JABB.2017.50114

Azaiez, S., Ben Slimene, I., Karkouch, I., Essid, R., Jallouli, S., Djebali, N., Elkahoui, S., Limam,

F., & Tabbene, O. (2018). Biological control of the soft rot bacterium Pectobacterium carotovorum by Bacillus amyloliquefaciens strain Ar10 producing glycolipid-like compounds. *Microbiological Research*, *217*, 23–33. https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.08.013

Aziz, Z., Ahmad, A., Setapar, S. H., Karakucuk, A., Azim, M., Lokhat, D., Rafatullah, M., Ganash, M., Kamal, M., & Ashraf, G. (2018). Essential Oils: Extraction Techniques, Pharmaceutical And Therapeutic Potential - A Review. *Current Drug Metabolism*, *19*(13), 1100–1110. https://doi.org/10.2174/1389200219666180723144850

Bendif, H., Lazali, M., Souilah, N., Miara, M., Kazernavičiūtė, R., Baranauskienė, R., Venskutonis, P., & Maggi, F. (2018). Supercritical CO 2 extracts and essential oils from Teucrium polium L. growing in Algeria: chemical composition and antioxidant activity. *Journal of Essential Oil Research*, *30*(6), 488–497. https://doi.org/10.1080/10412905.2018.1493406

Cáceres, M., Hidalgo, W., Stashenko, E., Torres, R., & Ortiz, C. (2020). Essential Oils of Aromatic Plants with Antibacterial, Anti-Biofilm and Anti-Quorum Sensing Activities against Pathogenic Bacteria. *Antibiotics*, *9*(4), 147. https://doi.org/10.3390/antibiotics9040147

Caputo, L., Smeriglio, A., Trombetta, D., Cornara, L., Trevena, G., Valussi, M., Fratianni, F., De Feo, V., & Nazzaro, F. (2020). Chemical Composition and Biological Activities of the Essential Oils of Leptospermum petersonii and Eucalyptus gunnii. *Frontiers in Microbiology*, *11*, 409. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00409

Che Radzi, N., & Kasim, F. A. (2020). Effect of Microwave Pretreatment on Gaharu Essential Oil Using Hydrodistillation Method. *Indonesian Journal of Chemistry*, *20*(4), 960. https://doi.org/10.22146/ijc.43191

Chouhan, S., Sharma, K., & Guleria, S. (2017). Antimicrobial Activity of Some Essential Oils—Present Status and Future Perspectives. *Medicines*, *4*(3), 58. https://doi.org/10.3390/medicines4030058

Corzo-López, M., & Quiñones-Pantoja, M. L. (2017). Identificación bioquímica, fisiológica y patogénica de aislados bacterianos asociados a la pudrición blanda y pierna negra en papa. *Revista de Protección Vegetal*, *32*(3). http://revistas.censa.edu.cu/index.php/RPV/article/view/928/982

Cubero Agüero, D. (2019). *Diversidad de bacterias fitopatógenas, agentes causales de pudrición*

blanda en hortalizas de las zonas de Cartago y Alajuela, Costa Rica [Universidad de Costa Rica]. http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/11141/1/44697.pdf

Database, E. G. (2021). *Fusarium (1FUSAG)[Overview]| EPPO Global Database*. https://gd.eppo.int/taxon/1FUSAG

de Lamo, F. J., & Takken, F. L. W. (2020). Biocontrol by Fusarium oxysporum Using Endophyte-Mediated Resistance. *Frontiers in Plant Science*, *11*(37). https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00037

Deryabin, D., Galadzhieva, A., Kosyan, D., & Duskaev, G. (2019). Plant-Derived Inhibitors of AHL-Mediated Quorum Sensing in Bacteria: Modes of Action. *International Journal of Molecular Sciences*, *20*(22), 5588. https://doi.org/10.3390/ijms20225588

Desam, N. R., Al-Rajab, A. J., Sharma, M., Mylabathula, M. M., Gowkanapalli, R. R., & Albratty, M. (2019). Chemical constituents, in vitro antibacterial and antifungal activity of Mentha×Piperita L. (peppermint) essential oils. *Journal of King Saud University - Science*, *31*(4), 528–533. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2017.07.013

Edel-Hermann, V., & Lecomte, C. (2019). Current Status of Fusarium oxysporum Formae Speciales and Races. *Phytopathology®*, *109*(4), 512–530. https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-18-0320-RVW

EL-Hefny, M., Ashmawy, N. A., Salem, M. Z. M., & Salem, A. Z. M. (2017). Antibacterial activities of the phytochemicals-characterized extracts of Callistemon viminalis, Eucalyptus camaldulensis and Conyza dioscoridis against the growth of some phytopathogenic bacteria. *Microbial Pathogenesis*, *113*, 348–356. https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.11.004

Elyemni, M., Louaste, B., Nechad, I., Elkamli, T., Bouia, A., Taleb, M., Chaouch, M., & Eloutassi, N. (2019). Extraction of Essential Oils of Rosmarinus officinalis L. by Two Different Methods: Hydrodistillation and Microwave Assisted Hydrodistillation. *TheScientificWorldJournal*, *2019*, 3659432. https://doi.org/10.1155/2019/3659432

Gao, X., Lv, S., Wu, Y., Li, J., Zhang, W., Meng, W., Wang, C., & Meng, Q. (2017). Volatile components of essential oils extracted from Pu-erh ripe tea by different extraction methods. *International Journal of Food Properties*, *20*(sup1), S240–S253. https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1295256

Gavahian, M., & Farahnaky, A. (2018). Ohmic-assisted hydrodistillation technology: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *72*, 153–161.

https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.12.014

Gavahian, M., Farhoosh, R., Javidnia, K., Shahidi, F., Golmakani, M.-T., & Farahnaky, A. (2017). Effects of Electrolyte Concentration and Ultrasound Pretreatment on Ohmic-Assisted Hydrodistillation of Essential Oils from Mentha piperita L. *International Journal of Food Engineering*, *13*(10). https://doi.org/10.1515/ijfe-2017-0010

Gavahian, M., Sastry, S., Farhoosh, R., & Farahnaky, A. (2020). Ohmic heating as a promising technique for extraction of herbal essential oils: Understanding mechanisms, recent findings, and associated challenges. *Advances in Food and Nutrition Research*, *91*, 227–273. https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.09.001

Gerayeli, N., Baghaee-Ravari, S., & Tarighi, S. (2018). Evaluation of the antagonistic potential of Bacillus strains against Pectobacterium carotovorum subsp. carotovorum and their role in the induction of resistance to potato soft rot infection. *European Journal of Plant Pathology*, *150*(4), 1049–1063. https://doi.org/10.1007/s10658-017-1344-0

Gonçalves, D. C., Tebaldi de Queiroz, V., Costa, A. V., Lima, W. P., Belan, L. L., Moraes, W. B., Pontes Póvoa Iorio, N. L., & Corrêa Póvoa, H. C. (2021). Reduction of Fusarium wilt symptoms in tomato seedlings following seed treatment with Origanum vulgare L. essential oil and carvacrol. *Crop Protection*, *141*, 105487. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105487

González-Fernández, M. J., Manzano-Agugliaro, F., Zapata-Sierra, A., Belarbi, E. H., & Guil-Guerrero, J. L. (2020). Green argan oil extraction from roasted and unroasted seeds by using various polarity solvents allowed by the EU legislation. *Journal of Cleaner Production*, *276*, 123081. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123081

Gordon, T. R. (2017). Fusarium oxysporum and the Fusarium Wilt Syndrome. *Annual Review of Phytopathology*, *55*(1), 23–39. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080615-095919

Goudjil, M. B., Ladjel, S., Zighmi, S., Hammoya, F., Bensaci, M. B., Mehani, M., & Bencheikh, S. (2016). Bioactivity of Laurus Nobilis and Mentha Piperita essential oils on some phytopathogenic fungi (in vitro assay). *J. Mater. Environ. Sci*, *7*(12), 4525–4533.

Gutierrez-Pacheco, M. M., Gonzalez-Aguilar, G. A., Martinez-Tellez, M. A., Lizardi-Mendoza, J., Madera-Santana, T. J., Bernal-Mercado, A. T., Vazquez-Armenta, F. J., & Ayala-Zavala, J. F. (2018). Carvacrol inhibits biofilm formation and production of extracellular polymeric substances of Pectobacterium carotovorum subsp. carotovorum. *Food Control*, *89*, 210–218.

https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.02.007

Haffizi, M., Sulaiman, S., Noraini Jimat, D., & Amid, A. (2020). Review: A Comparison of Conditions for The Extraction of Vegetable and Essential Oils Via Microwave-Assisted Extraction. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *778*(1), 012172. https://doi.org/10.1088/1757-899X/778/1/012172

Hajian-Maleki, H., Baghaee-Ravari, S., & Moghaddam, M. (2021). Herbal essential oils exert a preservative effect against the potato soft rot disease. *Scientia Horticulturae*, *285*, 110192. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110192

Hakimi, M. I., Ilham, Z., & Abdul Kohar, R. A. (2019). Enhancement of Agro-Industrial Copra Residue Oil Yield Using Microwave-Assisted Extraction. *Waste and Biomass Valorization*, *10*(9), 2681–2688. https://doi.org/10.1007/s12649-018-0274-1

Haloui, I., & Meniai, A.-H. (2017). Supercritical CO 2 extraction of essential oil from Algerian Argan (Argania spinosa L.) seeds and yield optimization. *International Journal of Hydrogen Energy*, *42*(17), 12912–12919. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.12.012

Hashemi, S. M. B., Nikmaram, N., Esteghlal, S., Mousavi Khaneghah, A., Niakousari, M., Barba, F. J., Roohinejad, S., & Koubaa, M. (2017). Efficiency of Ohmic assisted hydrodistillation for the extraction of essential oil from oregano (Origanum vulgare subsp. viride) spices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *41*, 172–178. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.03.003

Hassanin, M., Abd-El-Sayed, M., & Abdallah, M. (2017). Antifungal activity of some essential oil emulsions and nanoemulsions against Fusarium oxysporum pathogen affecting cumin and geranium plants. *Scientific Journal of Flowers and Ornamental Plants*, *4*(3), 245–258. https://doi.org/10.21608/sjfop.2017.11326

Hu, B., Li, Y., Song, J., Li, H., Zhou, Q., Li, C., Zhang, Z., Liu, Y., Liu, A., Zhang, Q., Liu, S., & Luo, Q. (2020). Oil extraction from tiger nut (Cyperus esculentus L.) using the combination of microwave-ultrasonic assisted aqueous enzymatic method - design, optimization and quality evaluation. *Journal of Chromatography. A*, *1627*, 461380. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2020.461380

Huang, X.-Q., Lu, X.-H., Sun, M.-H., Guo, R.-J., van Diepeningen, A. D., & Li, S.-D. (2019). Transcriptome analysis of virulence-differentiated Fusarium oxysporum f. sp. cucumerinum isolates during cucumber colonisation reveals pathogenicity profiles. *BMC Genomics*, *20*(1),

570. https://doi.org/10.1186/s12864-019-5949-x

Ibrahim, N. A., & Zaini, M. A. A. (2018). Microwave-assisted solvent extraction of castor oil from castor seeds. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, *26*(12), 2516–2522. https://doi.org/10.1016/j.cjche.2018.07.009

Joshi, J. R., Khazanov, N., Senderowitz, H., Burdman, S., Lipsky, A., & Yedidia, I. (2016). Plant phenolic volatiles inhibit quorum sensing in pectobacteria and reduce their virulence by potential binding to ExpI and ExpR proteins. *Scientific Reports*, *6*(1), 38126. https://doi.org/10.1038/srep38126

Kaur, N., & Singh, A. K. (2016). Ohmic Heating: Concept and Applications-A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *56*(14), 2338–2351. https://doi.org/10.1080/10408398.2013.835303

Koubaa, M., Mhemdi, H., Barba, F. J., Roohinejad, S., Greiner, R., & Vorobiev, E. (2016). Oilseed treatment by ultrasounds and microwaves to improve oil yield and quality: An overview. *Food Research International*, *85*, 59–66. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.007

Kusuma, H. S., & Mahfud, M. (2017). The extraction of essential oils from patchouli leaves (Pogostemon cablin Benth) using a microwave air-hydrodistillation method as a new green technique. *RSC Advances*, *7*(3), 1336–1347. https://doi.org/10.1039/C6RA25894H

Liu, Z., Deng, B., Li, S., & Zou, Z. (2018). Optimization of solvent-free microwave assisted extraction of essential oil from Cinnamomum camphora leaves. *Industrial Crops and Products*, *124*, 353–362. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.016

López-Díaz, C., Rahjoo, V., Sulyok, M., Ghionna, V., Martín-Vicente, A., Capilla, J., Di Pietro, A., & López-Berges, M. S. (2018). Fusaric acid contributes to virulence of Fusarium oxysporum on plant and mammalian hosts. *Molecular Plant Pathology*, *19*(2), 440–453. https://doi.org/10.1111/mpp.12536

Marina, M. A. S., Eleria, G. del C. H., García, V. H., Velasco, C. R., Cisneros, M. F. R., Larramendi, L. A. R., García, C. O., & Medinilla, E. E. (2021). Salmea scandens (Asteraceae) extracts inhibit the growth of Fusarium oxysporum and Alternaria solani pathogens of tomato. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*. http://revistas.uncuyo.edu.ar/ojs3/index.php/RFCA/article/view/3259

Moghaddam, M., & Mehdizadeh, L. (2016). Essential Oil and Antifungal Therapy. In *Recent Trends in Antifungal Agents and Antifungal Therapy* (pp. 29–74). Springer India.

https://doi.org/10.1007/978-81-322-2782-3_2

Moghaddam, M., & Mehdizadeh, L. (2020). Chemical Composition and Antifungal Activity of Essential Oil of Thymus vulgaris Grown in Iran against Some Plant Pathogenic Fungi. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *23*(5), 1072–1083. https://doi.org/10.1080/0972060X.2020.1843547

Moghaddam, M., Mehdizadeh, L., Mirzaei Najafgholi, H., & Ghasemi Pirbalouti, A. (2018). Chemical composition, antibacterial and antifungal activities of seed essential oil of Ferulago angulata. *International Journal of Food Properties*, *21*(1), 158–170. https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1437626

Mohseni, S., & Rad, A. S. (2018). Determination of Compositions of Thymus Pubescens; the Comparison of Different Solvents towards Extraction. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, *42*(4), 1923–1928. https://doi.org/10.1007/s40995-017-0159-3

Muñoz Castellanos, L., Amaya Olivas, N., Ayala-Soto, J., De La O Contreras, C. M., Zermeño Ortega, M., Sandoval-Salas, F., & Hernández-Ochoa, L. (2020). In Vitro and In Vivo Antifungal Activity of Clove (Eugenia caryophyllata) and Pepper (Piper nigrum L.) Essential Oils and Functional Extracts Against Fusarium oxysporum and Aspergillus niger in Tomato (Solanum lycopersicum L.). *International Journal of Microbiology*, *2020*, 1–8. https://doi.org/10.1155/2020/1702037

Nazzaro, F., Fratianni, F., Coppola, R., & Feo, V. De. (2017). Essential Oils and Antifungal Activity. *Pharmaceuticals*, *10*(4), 86. https://doi.org/10.3390/ph10040086

Nazzaro, F., Fratianni, F., D'Acierno, A., Caputo, L., Feo, V. De, & Coppola, R. (2021). Antibiofilm Properties Exhibited by the Prickly Pear (Opuntia ficus-indica) Seed Oil. *Proceedings*, *66*(1), 29. https://doi.org/10.3390/proceedings2020066029

Niemi, O., Laine, P., Koskinen, P., Pasanen, M., Pennanen, V., Harjunpää, H., Nykyri, J., Holm, L., Paulin, L., Auvinen, P., Palva, E. T., & Pirhonen, M. (2017). Genome sequence of the model plant pathogen Pectobacterium carotovorum SCC1. *Standards in Genomic Sciences*, *12*(1), 87. https://doi.org/10.1186/s40793-017-0301-z

Oktavianawati, I. (2020). Essential Oil Extraction of Cananga odorata Flowers using Hydrodistillation and Steam-Water Distillation Processes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *833*(1), 012032. https://doi.org/10.1088/1757-899X/833/1/012032

Padilla Galvez, N. P. (2017). *Capacidad antagónica contra Pectobacterium carotovorum, Pectobacterium atrosepticum, y colonización de sistema radicular de Solanum tuberosum cv. Pukará-INIA, de actinobacterias endófitas de Solanum tuberosum subsp. tuberosum nativa chilena.* [Universidad de Concepción]. http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/2865/4/Tesis_Capacidad_Antagonica_contra_Pectobacterium.pdf

Palyzová, A., Svobodová, K., Sokolová, L., Novák, J., & Novotný, Č. (2019). Metabolic profiling of Fusarium oxysporum f. sp. conglutinans race 2 in dual cultures with biocontrol agents Bacillus amyloliquefaciens, Pseudomonas aeruginosa, and Trichoderma harzianum. *Folia Microbiologica*, *64*(6), 779–787. https://doi.org/10.1007/s12223-019-00690-7

Park, C., Kim, H., Lee, D. W., Kim, J., & Choi, Y. (2020). Identification of antifungal constituents of essential oils extracted from Boesenbergia pulcherrima against Fusarium wilt (Fusarium oxysporum). *Applied Biological Chemistry*, *63*(1), 34. https://doi.org/10.1186/s13765-020-00518-w

Pavlić, B., Teslić, N., Zengin, G., Đurović, S., Rakić, D., Cvetanović, A., Gunes, A. K., & Zeković, Z. (2020). Antioxidant and enzyme-inhibitory activity of peppermint extracts and essential oils obtained by conventional and emerging extraction techniques. *Food Chemistry*, *338*, 127724. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127724

Plavsic, D., Skrinjar, M., Psodorov, D., Pezo, L., Milovanovic, I., Psodorov, D., Kojic, P., & Kocic-Tanackov, S. (2020). Chemical structure and antifungal activity of mint essential oil components. *Journal of the Serbian Chemical Society*, *85*(9), 1149–1161. https://doi.org/10.2298/JSC191210017P

Quintanilla, A. J. R. (2020). *Identificación y control del agente causal de la pudirición húmeda en alcachofa (Cynara scolymus L.) en chincha baja* [Universida Nacional Agracia La Molina]. http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/4350/requis-quintanilla-angela-juana.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Raveau, R., Fontaine, J., & Lounès-Hadj Sahraoui, A. (2020). Essential Oils as Potential Alternative Biocontrol Products against Plant Pathogens and Weeds: A Review. *Foods*, *9*(3), 365. https://doi.org/10.3390/foods9030365

Retana, K., Ramírez-Coché, J. A., Castro, O., & Blanco-Meneses, M. (2018). Caracterización morfológica y molecular de *Fusarium oxysporum* F. SP. *Apii* asociado a la marchitez del apio

en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, *42*(1), 115–126. https://doi.org/10.15517/rac.v42i1.32199

Roohinejad, S., Koubaa, M., Barba, F. J., Leong, S. Y., Khelfa, A., Greiner, R., & Chemat, F. (2017). Extraction Methods of Essential Oils From Herbs and Spices. In *Essential Oils in Food Processing* (pp. 21–55). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781119149392.ch2

Salem, M. Z. M., Elansary, H. O., Ali, H. M., El-Settawy, A. A., Elshikh, M. S., Abdel-Salam, E. M., & Skalicka-Woźniak, K. (2018). Bioactivity of essential oils extracted from Cupressus macrocarpa branchlets and Corymbia citriodora leaves grown in Egypt. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, *18*(1), 23. https://doi.org/10.1186/s12906-018-2085-0

Sarah, M., & Estherina, D. (2020). Essential oil extraction from citronella grass by microwave-assisted hydro-distillation technique: a preliminary study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *801*(1), 012046. https://doi.org/10.1088/1757-899X/801/1/012046

Seidi Damyeh, M., & Niakousari, M. (2017). Ohmic hydrodistillation, an accelerated energy-saver green process in the extraction of Pulicaria undulata essential oil. *Industrial Crops and Products*, *98*, 100–107. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.01.029

Seidi Damyeh, M., Niakousari, M., Golmakani, M. T., & Saharkhiz, M. J. (2016). Microwave and Ohmic Heating Impact on the In situ Hydrodistillation and Selective Extraction of Satureja macrosiphonia Essential Oil. *Journal of Food Processing and Preservation*, *40*(4), 647–656. https://doi.org/10.1111/jfpp.12644

Sharma, A., Rajendran, S., Srivastava, A., Sharma, S., & Kundu, B. (2017). Antifungal activities of selected essential oils against Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici 1322, with emphasis on Syzygium aromaticum essential oil. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, *123*(3), 308–313. https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2016.09.011

Stratakos, A. C., & Koidis, A. (2016). Methods for Extracting Essential Oils. In *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety* (pp. 31–38). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00004-3

Yamamoto, Y., Nawate, T., & Mitsudo, S. (2019). Extraction of essential oils from leaves of the Japanese Lindera umbellata Thunb. by using microwave heating distillation method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *550*(1), 012033. https://doi.org/10.1088/1757-899X/550/1/012033

Yao, Z., Chen, Q., Chen, D., Zhan, L., Zeng, K., Gu, A., Zhou, J., Zhang, Y., Zhu, Y., Gao, W.,

Wang, L., Zhang, Y., & Qu, Y. (2019). The susceptibility of sea-island cotton recombinant inbred lines to Fusarium oxysporum f. sp. vasinfectum infection is characterized by altered expression of long noncoding RNAs. *Scientific Reports*, *9*(1), 2894. https://doi.org/10.1038/s41598-019-39051-2

Zeković, Z., Pintać, D., Majkić, T., Vidović, S., Mimica-Dukić, N., Teslić, N., Versari, A., & Pavlić, B. (2017). Utilization of sage by-products as raw material for antioxidants recovery—Ultrasound versus microwave-assisted extraction. *Industrial Crops and Products*, *99*, 49–59. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.01.028

Zermane, A., Larkeche, O., Meniai, A.-H., Crampon, C., & Badens, E. (2016). Optimization of Algerian rosemary essential oil extraction yield by supercritical CO2 using response surface methodology. *Comptes Rendus Chimie*, *19*(4), 538–543. https://doi.org/10.1016/j.crci.2015.08.011

Zhong, J., Wang, Y., Yang, R., Liu, X., Yang, Q., & Qin, X. (2018). The application of ultrasound and microwave to increase oil extraction from Moringa oleifera seeds. *Industrial Crops and Products*, *120*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.04.028

Environment & Technology ISSN: 2711 4422
Vol. 2 No. 1 Enero-Junio,2021: 122-141
URL: https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/
DOI: https://doi.org/10.56205/ret.2-1.7

Incidencia de los modelos productivos agropecuarios actuales sobre los suelos en la vereda Cruz de Mayo del municipio de San Andrés de Sotavento

Impact of current agricultural production models on soils in the vereda Cruz de Mayo of the municipality of San Andrés de Sotavento

Ayda María Anichiarico Ayala
Ingeniero sanitario y ambiental
Universidad Pontificia Bolivariana
amaa98@hotmail.com
https://orcid.org/0000-0001-6468-9976
Córdoba, Colombia

Aylin Salgado Ávila
Ingeniero sanitario y ambiental
ailinsa1997@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-8554-4976
Córdoba, Colombia

Resumen

Bajo la dirección de macro indicadores agropecuarios en el manejo y conservación de los suelos, se propuso analizar la incidencia de los modelos productivos para evaluar el uso y estado actual del suelo, la modelación del riesgo que puede existir y el análisis de las principales presiones e impactos que ejerce la comunidad, teniendo en cuenta los indicadores físicos, químicos y biológicos. Con base a estos indicadores se determinó y clasificó el uso y estado actual del suelo de la vereda. Las técnicas de los habitantes de la vereda se caracterizan por ser homogéneas en toda la zona, utilizan labranza mínima y mecanización de tierra de forma manual, siendo los insumos todos similares. Así mismo, algunos sectores se encuentran deteriorados por la alta concentración de agroquímicos en el suelo, los cuales son utilizados en la actividad agrícola, mientras que en otros sectores se presentan problemas de erosión, compactación y pérdida de fertilidad por prácticas de ganadería extensiva. A pesar de ser comunidades indígenas que han empleado esta labor de agricultores desde su niñez y recurren a técnicas ancestrales heredadas, se han visto influenciados por la industria y han accedido al uso de este tipo de agroquímicos. La pérdida de la cobertura vegetal, la pérdida de propiedades físicas, la alteración de la edafofauna fueron las presiones que conllevaron a realizar una serie de respuestas y así posteriormente elaborar métodos alternativos para desarrollar un modelo PER asociado a nuestra zona de estudio.

Palabras claves: mecanización; técnicas ancestrales; labranza mínima; pérdida de fertilidad; ganadería extensiva.

Recibido: *09/06/2021*
Revisado: *20/06/2021*
Aprobado: *23/08/2021*

Los artículos de Environment & Technology se comparten con Licencia Creative Commons: CC BY-NC-ND

Abstract

Under the direction of agricultural macro indicators in the management and conservation of soils, it was proposed to analyze the incidence of production models to evaluate the use and current state of the soil, the modeling of the risk that may exist and the analysis of the main pressures and impacts exerted by the community, taking into account physical, chemical and biological indicators. Based on these indicators, the use and current state of the soil of the village was determined, classified. The techniques of the inhabitants of the village are characterized by being homogeneous throughout the area, they use minimal tillage and mechanization of land manually, with all inputs being similar. Likewise, some sectors are deteriorated by the high concentration of agrochemicals in the soil, which are used in agricultural activity, while in other sectors there are problems of erosion, compaction and loss of fertility due to extensive livestock practices. Despite being indigenous communities that have used this work of farmers since childhood and resort to inherited ancestral techniques, they have been influenced by the industry and have agreed to the use of this type of agrochemicals. The loss of vegetation cover, the loss of physical properties, the alteration of the edafofauna were the pressures that led to a series of responses and thus later to develop alternative methods to develop a PER model associated with our study area.

Keywords: mechanization; ancient techniques; minimum tillage; loss of fertility; Extense livestock farming.

Introducción

El sector agropecuario tiene como función principal la producción de alimentos y materias primas, con el objetivo de satisfacer las demandas de los mercados interno y externo. La producción agropecuaria opera en función de dos factores: El crecimiento demográfico y el comportamiento del ingreso personal destinado para la alimentación o consumo de los productos derivados de la materia prima producida por el sector. En Colombia, el sector agropecuario se ha caracterizado históricamente por jugar un papel relevante para la economía del país. Los suelos sufren una creciente presión por la intensificación de su uso para la agricultura, la silvicultura, el pastoreo y la urbanización. Se estima que la demanda de una población creciente sobre el suelo aumentará un 60% para 2050 La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2015). Estas presiones, combinadas con usos y prácticas de gestión no sostenibles, así como los fenómenos climáticos extremos, causan una degradación importante del suelo, que en el caso de Colombia afecta el 40% del territorio en lo que se refiere a erosión Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT-IDEAM, 2015). El municipio de San Andrés de Sotavento, presenta el 58% de su área con conflictos de uso del suelo por subutilización, la cual está asociada al establecimiento de mosaicos de cultivos, pastos y barbecho en áreas con vocación agrícola. Un 24% del municipio tiene usos adecuados, mientras que un 5% del área tiene conflictos debido a la presencia de cultivos en zonas pantanosas. Actualmente debido a la pérdida de tierras se han modificado las técnicas agropecuarias, sobre todo en la

agricultura, en donde actualmente se emplean técnicas de rastrillo y quemas, adición de agroquímicos en gran masa, por medio de fertilizantes, abonos, pesticidas, etc.

Finalmente, la importancia de este estudio se centra en contribuir a nivel local a la generación de estrategias que aporten a lograr una restauración del suelo, a través de una caracterización para el uso de este y lograr conocer la condición actual en que se encuentra en la población determinada.

Metodología

El método que se utilizó en el estudio de las condiciones ambientales del recurso suelo de la vereda Cruz de Mayo, se soporta en el análisis de información primaria, puesto que en la zona no se registren antecedentes ni estudios previos que evalúen o diagnostiquen el uso y estado actual del suelo. Primero se buscó identificar las incidencias que tienen las actividades o procesos agropecuarios por parte de la comunidad y analizar cómo se estaban desarrollando los procesos para los cultivos y así poder caracterizarlos. Para el estudio de la información primaria se diseñó y aplicó un instrumento de investigación tipo cuestionario, que buscó recopilar información de variables socioeconómicas, problemas y conflictos ambientales, que permitiera contrastar con la información analizada y con las visitas a campo realizadas a los ecosistemas en mención.

Se desarrolló bajo un enfoque mixto, implicando un proceso de recolección, análisis y vinculación de datos cualitativos y cuantitativos. La tipología fue descriptiva debido a que se evidenciaron los problemas que afectan a la vereda y sus poblaciones vecinas. El área de estudio fue la vereda Cruz de Mayo del Municipio de San Andrés de Sotavento, el cual se ubica al noroccidente del departamento de Córdoba, Colombia (**figura 1**).

Figura 1. Mapa ubicación espacial del departamento de Córdoba, ubicación del municipio y del corregimiento al que pertenece la vereda Cruz de Mayo. Fuente: Cartografía del departamento de Córdoba (2019).

Resultado y discusión

Características de las técnicas aplicadas

- **Maíz:** Terminada una cosecha, los restos de tallos y hojas del cultivo son sometidos a un proceso de macaneo y chapoleo, es decir, el pasto es cortado con el fin de preparar el terreno para su posterior quema controlada. Luego de la quema proceden a preparar el terreno para su cultivo en donde, con una macana realizan el "picado" para introducir la semilla. El cultivo es fertilizado con abono orgánico (residuos ganaderos y orgánicos de alimentos). Al alcanzar una altura aproximada de 10 centímetros se hacina el rastrojo de mayor grosor, residuo de la quema. Pasado los 2 o 3 meses después de la siembra, se empieza a evidenciar la milpa del maíz, a partir de esta etapa el cultivo se denomina como segunda cosecha. Como fertilizante emplean el agroquímico Urea, puede ser fumigada con bomba o suministrada directamente en su estado sólido y como controlador de plagas utilizan Clorpirifós, comercialmente conocido como Lorsban.

- **Hortalizas y tubérculos:** Para las hortalizas se utiliza una técnica denominada asociación de cultivo la cual se emplea en terreno de alta densidad vegetal, es decir, se cultiva en terrenos ya cultivados. Esta técnica reduce el riesgo de aparición de plagas y

enfermedades, disminuye el crecimiento de la maleza e incrementa la vitalidad del cultivo y producción de frutos. Entre las hortalizas y tubérculos más frecuentes se encuentran el ñame y la yuca.

- **Arroz:** Para la siembra de arroz se utiliza la técnica de rotación de cultivos, la cual consiste en alternar plantas de diferentes familias y diferentes complejos alimenticios en un mismo lugar durante distintos ciclos. Se cultiva en un terreno plano, apto para retener el agua. En la región se tiene una creencia ancestral que dice "una cosecha próspera, es sembrada el día de San Antonio (13 de Junio)" por lo que normalmente en este mes empiezan las siembras de arroz.

Análisis espacio –temporal

Con el objetivo de examinar detalladamente los cambios físicos en el área de objeto de investigación, se realizó un análisis espacio-temporal de tres periodos, en los años 2011, 2013 y 2019, durante la época seca del año **(figura 2).**

Figura 2. Imágenes satelitales de la zona de estudio. Fuente: Google Earth, 2019 vereda Cruz de Mayo, San Andrés de Sotavento.

En el año 2011, la mayor parte del terreno está formada por lotes, los cuales se caracterizan por tener cobertura de pastos limpios en su gran mayoría debido a las actividades de ganadería extensiva, agricultura y muy probablemente por estragos de agroquímicos anteriormente, o bien, en la actualidad utilizados con frecuencia. Durante el año 2013 se observa un leve crecimiento urbanístico, se podría inferir que al aumentar el número de habitantes aumentaría las actividades económicas persistentes en el corregimiento, la

agricultura, la ganadería extensiva en pocas áreas, así mismo crecería el número de lotes y disminuye la cobertura vegetal. En el año 2019 se evidencia un estado en donde se disminuye la vegetación arbórea y se incrementan las pasturas. Llegando a perder casi la totalidad de su cobertura vegetal, tanto así que no es posible observar alguno de los lotes.

Uso y estado actual del suelo

Con el fin de concretar y detallar el estado y uso actual del recurso suelo en la vereda Cruz de Mayo jurisdicción del municipio de San Andrés de Sotavento, se realizaron una serie de encuestas en las cuales se indagó acerca del estado social, económico y conocimiento ambiental del encuestado, así como también las técnicas agropecuarias, frecuencia y tiempo de recuperación de suelo.

Uso de la tierra

La población encuestada, en su totalidad utiliza la mayor parte de su terreno para actividades agrícolas, exceptuando aproximadamente entre media y una hectárea, lugar en donde se estructura su vivienda. Una pequeña porción de las comunidades se dedica adicionalmente a la ganadería reduciendo así los impactos de compactación del suelo en la zona, presentando poca penetración de agua y evidenciándose los primeros procesos de erosión, además, la bovinaza resultante de las actividades ganaderas es utilizada por algunos como abono natural. Todo el producido tiene como destino el autoconsumo de la familia en donde adicionalmente cerca del 60% también lo dedican al comercio (**figura 3**).

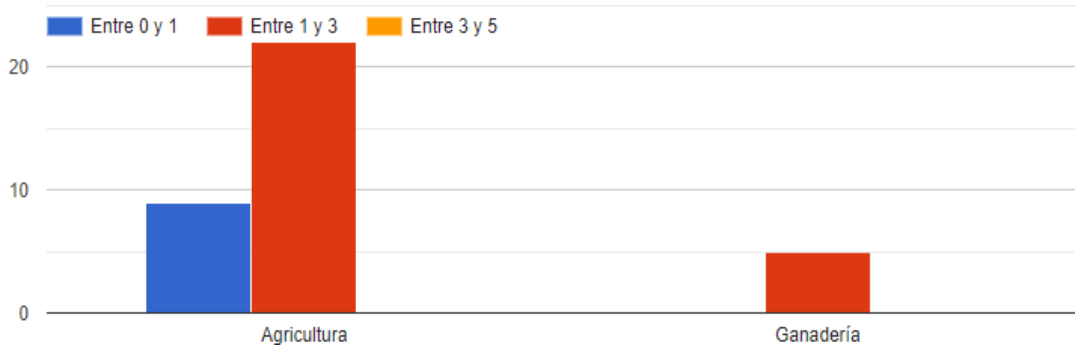


Figura 3. Uso de la tierra. Fuente: Elaboración propia producto de análisis estadístico (2019).

Productos que cultivan

Los principales productos de cultivo son la yuca, el ñame, el maíz y el arroz debido a que son cultivos propios de la región y de una demanda considerablemente alta en el mercado. Adicionalmente cultivan plátano y ajonjolí.

Todos sus cultivos son realizados con semillas de tipo criolla, las cuales son un tipo de semillas que no requieren una gran cantidad de fertilizante y son tratadas fácilmente con cenizas y orín. Lo que hace de estas técnicas las más utilizadas para fines agrícolas en la vereda, así mismo, son beneficiosas para el suelo, debido al poco uso de agroquímicos para su tratamiento (**figura 4**).

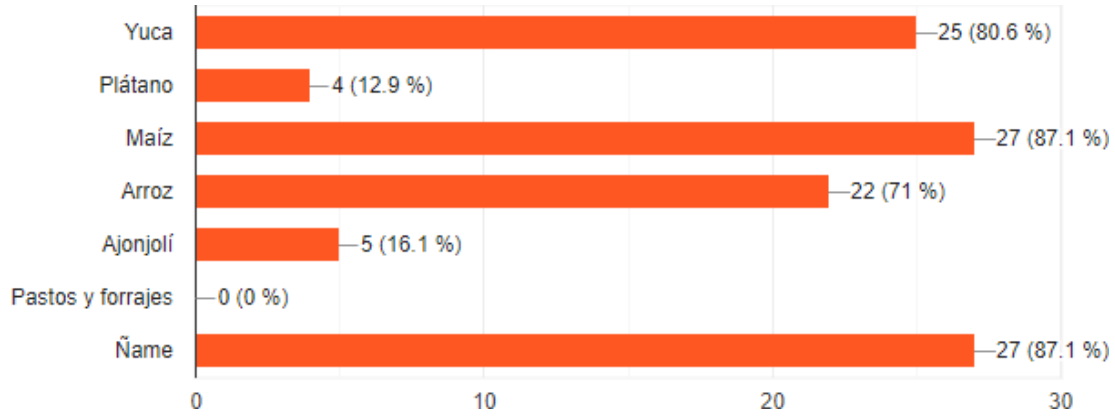


Figura 4. Productos que cultivan. Fuente**:** Elaboración propia producto de análisis estadístico (2019).

Tipos de agroquímicos

El 97% de la población encuestada utiliza agroquímicos para llevar a cabo sus labores agrícolas, entre los que se encuentran pesticidas y fertilizantes. El fertilizante de mayor demanda es la urea el cual es regado en cultivos de yuca, arroz, ñame, maíz y ajonjolí. Además, el 50% de esta población utiliza como complemento el compost y el 3% que afirma no utilizar ningún tipo de agroquímicos, utiliza el fertilizante natural, proveniente de actividades ganaderas (bovinaza) en donde no se emplea ningún tipo de desparasitante, antibiótico o drogas veterinarias para las reses, este hecho permite que la biota del suelo se conserve y no sea alterada, gracias a que el compost o materia orgánica utilizada no está contaminada con ningún tipo de agroquímico (Ramos y Terry, 2014) (**figura 5**).

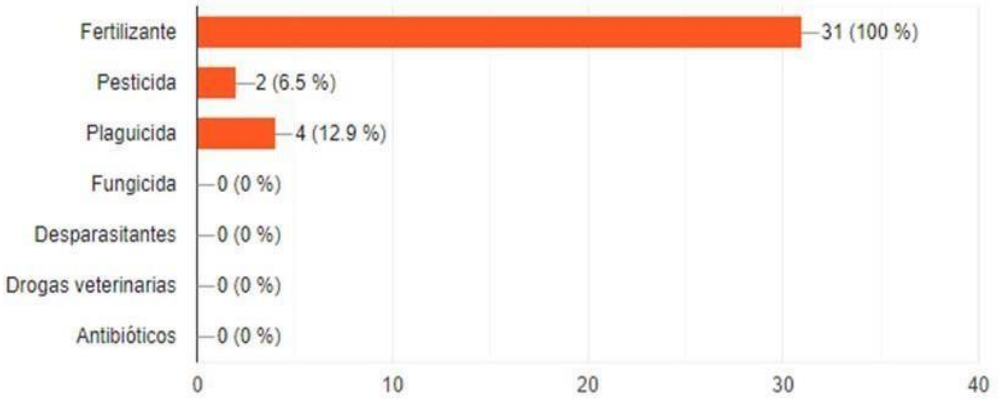


Figura 5. Tipos de agroquímicos. Fuente: Elaboración propia producto de análisis estadístico (2019).

Anomalías en el terreno

Todos los encuestados afirman ver cambios y anomalías durante el periodo de sus cultivos, entre los que están las pérdidas de humedad y fertilidad del suelo, agrietamientos, reducción en la biota, erosión, aparición frecuente de plagas y larvas (**figura 6**).

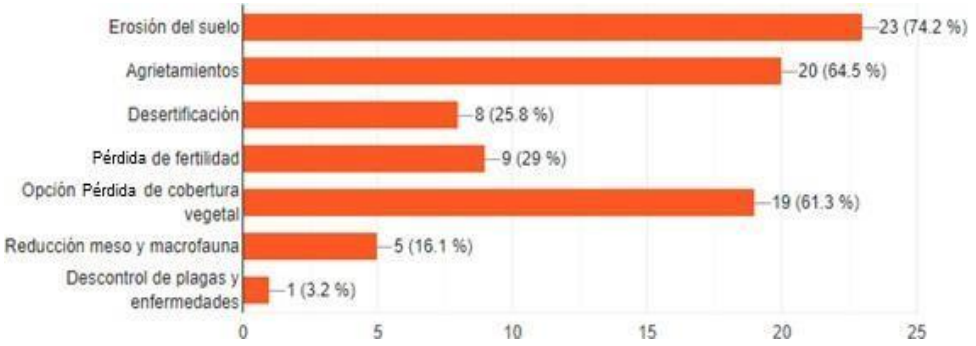


Figura 6. Anomalías en el terreno. Fuente: Elaboración propia producto de análisis estadístico (2019).

Análisis de muestras

Como resultado físico - químico se tomaron los parámetros porcentaje de hidrógeno, carbono orgánico; y los nutrientes Azufre, Potasio, Calcio y Fósforo.

La primera muestra, la cual pertenece a un sitio de potrerización (potrero) presenta un porcentaje de hidrógeno bajo, el cual tiende a ser ácido, esto debido a actividades agrícolas

antecesoras en este terreno en donde fueron utilizados agroquímicos. La segunda muestra tomada de cultivos de yuca y maíz revela un pH bastante adecuado cercano a la neutralidad, en este terreno solo se realizan actividades agrícolas abonadas con residuos orgánicos ganaderos. No presenta ningún síntoma de compactación, erosión o desertificación, debido a que son procesos netamente manuales. En la tercera y última muestra se obtuvieron resultados un poco más críticos. El terreno es un potrero erosionado, consecuencias del agrietamiento, ausencia de arcilla (arenoso) y compactación del suelo, que aunque en menor proporción es causado por las reses que pastorean la zona (**figura 7**).

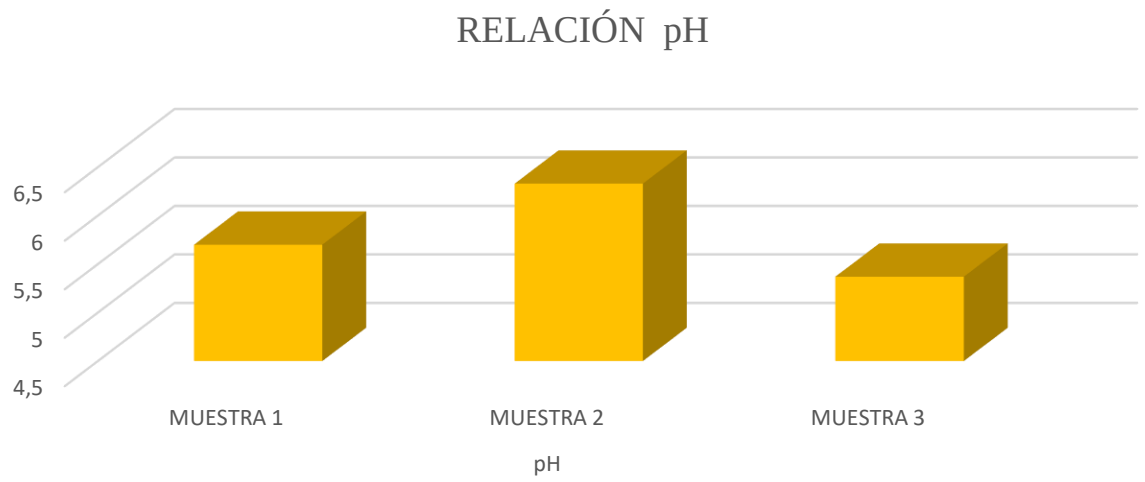


Figura 7. Relación pH. Fuente: Elaboración propia (2019).

El potasio es un nutriente limitante en el proceso de crecimiento en las plantas debido a que estas lo absorben y de dichos nutrientes depende el normal y correcto crecimiento de las plantas (Coronel, 2020; Henao y Hernández, 2002). En las zonas de potrero (muestra 1 y 3) hay una ausencia de consideración del potasio lo cual se ve reflejado en la escasez de plantas. Por otro lado en los cultivos de maíz y yuca abunda el potasio, indicador de la frecuente degradación de la materia orgánica y la presencia considerable de cultivos (**figura 8**).

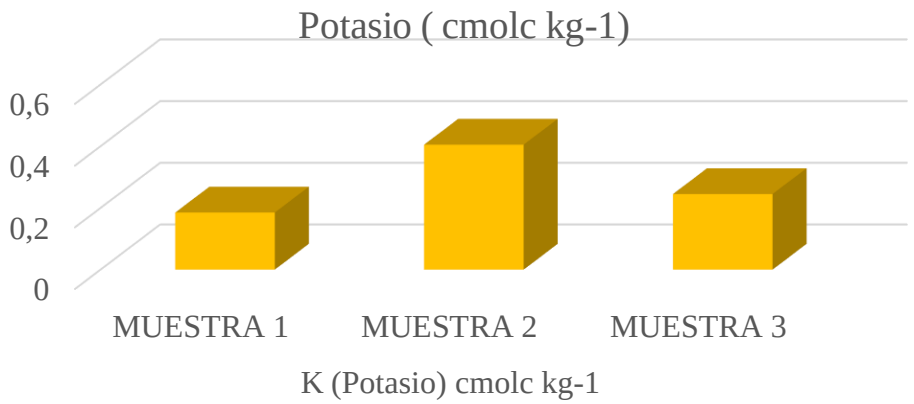


Figura 8. Relación potasio. Fuente: Elaboración propia (2019)

El calcio es un nutriente que interviene en la estructura de la pared celular y en la calidad de los cultivos, dicho de otra forma contribuye a la formación de la cáscara (García, 2014). En el potrero erosionado (muestra 3) hay una cantidad moderada de calcio que ha ido disminuyendo consecutivamente debido a la fácil filtración de nutrientes, causada por el agrietamiento del suelo y la escorrentía, sin embargo los niveles de calcio no son muy altos debido a la poca frecuencia y abastecimiento de dicho nutriente. Al presentar un suelo compactado por acción de actividades ganaderas se dificulta la absorción de nutrientes por lo que el potrero no erosionado (muestra 1) presenta dificultades para aumentar los niveles de calcio y nutrientes en general (García, 2014). En la zona de cultivos de yuca y maíz (muestra 2) se encuentra presente un nivel alto de calcio, originado por el constante riego de abono y su fácil absorción del suelo por acciones de arado y labranza (**figura 9**).

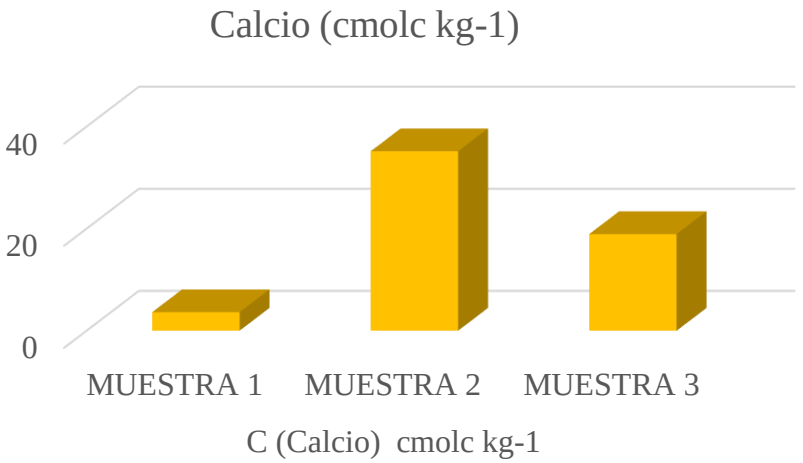


Figura 9. Relación calcio. Fuente: Elaboración propia (2019).

El azufre es un nutriente que regula las actividades fotosintéticas y esenciales en la fijación del nitrógeno, las plantas deficientes en azufre tienden a demorar su crecimiento y maduración. Al ser un nutriente limitante y esencial define la abundancia y/o escasez de vegetación en el terreno (Ramos, Gonzales y de los Baños, 2015; Herrán,Torres, Martínez, y Portugal,, 2008). En los potreros (muestra 1 y 3) es irrelevante la presencia de azufre en el suelo, sin embargo por acción de la ganadería la zona cuenta con un suministro óptimo y constante de nutrientes. Por otro lado en la zona de cultivos al tener una frecuente y abundante fuente de nutrientes, vegetación que los consuma, es evidente la presencia de azufre en el terreno (**figura 10**).

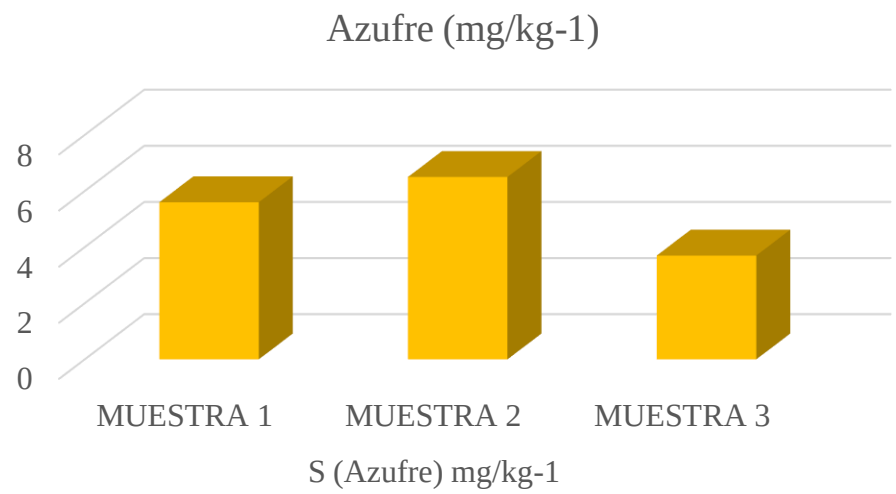


Figura 10. Relación azufre. Fuente: Elaboración propia (2019)

En el terreno se presenta limo, arcilla y arena con ausencia total de material rocoso. En el potrero no erosionado hay una relación aproximada del 90% de arena considerándolo con una zona arenosa, razón por la cual se reduce la presencia de plantas de dicho terreno. En la zona de cultivos se encuentra equilibrada la distribución de dichas texturas, siendo arena la propiedad más abundante, sin embargo hay la suficiente arcilla para permitir el óptimo crecimiento de los cultivos; clasificándolo como suelo arcilloso.

Por último en el potrero erosionado prevalece el franco limoso, es evidencia del estado de agrietamiento posterior a la erosión causada por la ganadería. En este caso hay una menor proporción de arena debida al transporte por medio de la escorrentía (**figura 11).**

Figura 11. Relación clase textural. Fuente: Elaboración propia - vereda Cruz de Mayo, San Andrés de Sotavento (2019).

Resultados análisis monolito

En la tabla 1 se observan la diversidad de grupos de meso y macro fauna encontrados en las muestras de suelo. Se obtuvo un total de dos (2) grupos de macro fauna (coleóptera e Isópoda), dos (2) morfo especies de larvas (Larva de milpiés y larva de escarabajos) y dos (2) grupos de meso fauna (Collembola y Pseudoescorpionidae) con un total de nueve (9) individuos, marcándose claramente el impacto negativo del disturbio provocado por la actividad ganadera en la composición de las comunidades biológicas del suelo.

Tabla 1.

Número de individuos encontrados por cada taxón.

GRUPOS	ZONAS DE ESTUDIO			
	Cultivos	**Potrero**	**Potrero erosionado**	**Total individuos**
COLLEMBOLA	1	0	0	1
PSEUDOESCORPIONIDAE	1	0	0	1
ISOPODA	0	1	0	1
COLEOPTERA	0	2	0	2
LARVA COLEOPTERA	0	1	0	1
LARVA MILIPEDE	0	0	3	3
TOTAL				**9**

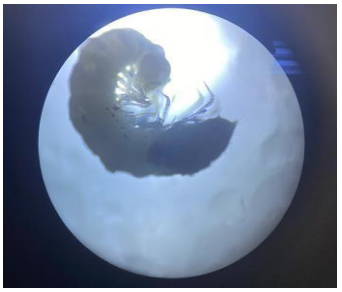
Fuente: Elaboración propia - vereda Cruz de Mayo, San Andrés de Sotavento (2019).

Todos los grupos encontrados tuvieron un bajo porcentaje de representación. Esto podría corresponder a que no existió presencia de especies vegetales sobre el suelo.

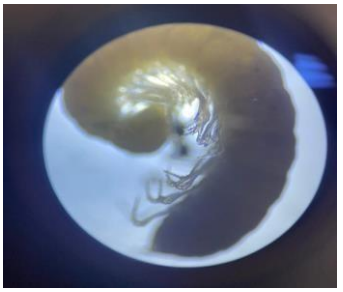
Según Ponge (1980) los colémbolos son utilizados como indicadores de fertilidad y estabilidad del suelo, por lo tanto la presencia de este gremio en estos suelos alterados por actividad agropecuaria muestra el efecto negativo sobre el número de individuos, haciendo de estos organismos un potencial como índice de calidad del suelo. Además, Ponge (1980), utilizó especies de colémbolos como indicadores de las variaciones ecológicas y Prasse (1985), afirmó que las comunidades de colémbolos son muy sensibles, puesto que presentan cambios en su composición debido a la influencia de las prácticas agrícolas. En este estudio, la ganadería y la implementación de herbicidas han generado la drástica reducción en el número de individuos de la población de este grupo (Prasse, 1985). Pseudoescorpionidae, Isópoda y Coleóptera son otros grupos funcionales indicadores del estado de la salud del suelo que intervienen en la mayoría de los procesos ecológicos (Depredadores principalmente en zonas áridas, descomponedores de la hojarasca y reciclaje de nutrientes respectivamente), sin embargo, el número de individuos por cada gremio deja en evidencia el grado de sensibilidad que posee la edafofauna en general, señalando el mal estado del suelo. Además, las larvas de milipide fueron encontradas dentro de masas de suelos compactas con mucha presencia de caminos agujerados y que posiblemente estaban en latencia. Por otra parte, se considera que el porcentaje de perturbación sobre la riqueza y abundancia de las comunidades biológicas encontradas pudieron ser afectada por las condiciones de sequía y altas temperaturas que atraviesa el municipio confirmando lo establecido por McColl (1975) quien señala que la actividad y presencia de la fauna del suelo se ve afectada por disponibilidad de agua, que viene directamente influenciada por las condiciones climáticas.

Por último, se concluye que la diversidad de la edafofauna encontrada puede estar directamente influenciada por las condiciones climáticas del sitio de muestreo, las actividades agropecuarias y la ausencia de especies vegetales herbáceas que propician el hábitat y la fuente de alimentos de muchos más organismos del suelo. La larva coleóptera y la larva milipide funcionan como bio-indicadores de una calidad degradante del suelo, hallando así a estos individuos en las muestras de los potreros (muestra 1 y 3), encontrando así, en un suelo compactado, erosionado, agrietado y con un porcentaje de hidrógeno

relativamente bajo (ácido), un hábitat agradable para su existencia. Fueron encontrados dos individuos Isópodas en la zona de potrero no erosionado (muestra 1), número bastante alarmante debido a que el número de su población se ha visto comprometida por acciones antrópicas de tipo ganadera causantes de la compactación del suelo, por lo que el escaso número de este individuo es un bio-indicador de la degradación y la mala salud del suelo en la zona (**figura 12).**

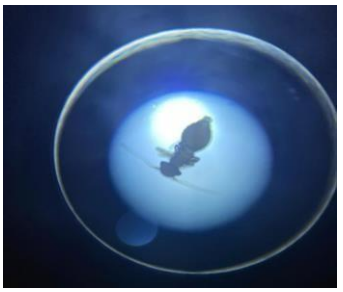


Larva Millipide



Larva Coleóptera

Figura 12. Larva Millipide y Larva Coleóptera. Fuente: Elaboración propia (2019)



Collembola

Psaudoescorpionidae

***Figura* 13**. Collembola y Psaudoescorpionidae. Fuente: Elaboración propia (2019)

En la zona de cultivos solo se cuantificaron dos individuos uno denominado collembola y el otro pseudoescorpiondade, ambos esenciales bio-indicadores de la buena calidad del suelo (Socarrás, 2013; Huertas y Martinez 2011), sin embargo su reducido número se debe a la alteración de factores como el pH, puesto a que son muy sensibles a las alteraciones físico

– químicas en su hábitat, alteraciones causadas por el uso de agroquímicos como herbicidas, fertilizantes, pesticidas, entre otros **(figura 13).**

Figura 14. Modelo PER. Fuente: Elaboración propia (2019)

Modelo Presión, Estado, Respuesta (PER)

El modelo de presión, estado, respuesta (PER) consiste en interrelacionar las actividades humanas (presión) y su impacto en el estado del medio ambiente (estado) esto con el objetivo de resumir y analizar las acciones a realizar para atender los problemas en cuestión (respuesta) (**figura 14).**

Con base a la información obtenida durante las visitas de campo, encuestas y demás métodos alternativos de investigación utilizados durante este proceso, se elaboró un modelo PER asociándose a nuestra zona objeto de estudio (tabla 2).

Tabla 2.

Modelo PER: Presión, Estado, Respuesta.

PRESIÓN	ESTADO	RESPUESTA
Pérdida de cobertura vegetal del suelo por el uso constante de agroquímicos	Degradación y pérdida de la fertilidad del suelo	Programa de recuperación y protección de zonas verdes
Pérdida de propiedades físicas y alteración del recurso edáfico	Transformación de los paisajes (agrietamiento, erosión, compactación)	Programa de recuperación y protección de zonas verdes. Programas de silvopastoreo y un modelo de agricultura sostenible.

Alteración de la edafo-fauna	Cambios en la población de microorganismos y bio-indicadores del estado y salud del suelo	Programas de silvopastoreo y un modelo de agricultura sostenible.
Desconocimiento y falta de capacitación de agricultores y ganaderos	Degradación y daños involuntarios por parte de la población	Programas de ayudas y capacitación para agricultores y ganaderos por parte de las entidades competentes. Programas de silvopastoreo y un modelo de agricultura sostenible.

Fuente: Elaboración propia - vereda Cruz de Mayo, San Andrés de Sotavento (2019).

Conclusiones

Con el desarrollo del estudio de las incidencias de los modelos productivos agropecuarios de la vereda Cruz de Mayo del municipio de San Andrés de Sotavento se concluye lo siguiente:

- Las técnicas de los habitantes de la vereda se caracterizan por ser homogéneas en toda la zona, utilizan labranza mínima y mecanización de tierra de forma manual, siendo los insumos todos similares.
- El uso y estado actual del suelo registró un deterioro por la adición de agroquímicos en la zona de cultivos, esto ha reflejado alteraciones de factores físicos y químicos (pH, nutrientes, textura del suelo, etc.)

Se evidenció reducción y aumento de población según el papel que desempeña cada organismo en el ecosistema, por otro lado para las zonas donde se practica la ganadería se evidencia un grado de compactación y erosión del suelo causados por la ausencia de un sistema silvopastoril, todo esto por concierne a los análisis de las tomas de muestras realizadas en la zona de estudio.

- A pesar de ser comunidades indígenas que han empleado esta labor de agricultores desde su niñez y recurren a técnicas ancestrales heredadas. Al no contar con un conocimiento adecuado sobre el impacto que causan dichos químicos, frecuentan su implementación aumentando el impacto negativo sobre el recurso.

Referencias

Coronel, N. (2003). Síntesis de la importancia del Potasio en el suelo y plantas. *La Granja*, *2*(1), 23-24**.** Recuperado de https://lagranja.ups.edu.ec/index.php/granja/article/view/2.2003.09

García, O. (2014). *Fertilidad de suelo y fertilización de cultivos*, (pp. 3- 18). Quiroga, A y Bono, A (Ed). *Manual de fertilidad y evaluación de suelos*. Buenos Aires. Argentina: Sello Editorial INTA.

Henao, C., y Hernández, E. (2002). Disponibilidad de potasio en suelos derivados de cenizas volcánicas y su relación con la nutrición del café en la etapa vegetativa. *Cenicafé*, *53*(4), 293-305. Recuperado de https://www.cenicafe.org/es/publications/arc053(04)293-305.pdf

Herrán, A., Torres, R., Martínez, E., Ruiz, M., y Portugal, O. (2008). Importancia de los abonos orgánicos. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, *4*(1), 57-68. Recuperado de http://www.uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-10articulosPDF/Art[1]%204%20Abonos.pdf

Huertas, A., y Martinez, L. (2011). *Invertebrados asociados a ecosistemas tropicales alterados por incendios de cobertura vegetal* (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali, Colombia.

McCall, P. (1975). The invertebrate fauna of the litter surface of a Nothofagus tmncata forest floor, and the effect of microclimate on activity. *New Zealand journal of zoology*, *2*(1), 15-34. https://doi.org/10.1080/03014223.1975.9517859

Ponge, F. (1980). Les biocénoses des Collemboles de la forêt de Sénart. *Pedobiologia, Elsevier*, 1993, 37 (4). 223-244.

Prasse, I. (1985). Indications of structural changes in the communities of microarthropods of the soil in an agro—ecosystem after applying herbicides. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *13*(3-4), 205-215. Recuperado de https://www.redalyc.org/pdf/2691/269127587001.pdf

Ramos, D., y Terry, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, *35*(4). Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000400007&lng=es&tlng=pt.

Ramos, C., González, T., y de los Baños, A. (2015). Importancia del azufre en la agricultura. *CUBA TABACO*, 16 (1), 1- 107. Recuperado de https://acortar.link/fxrBNn

Socarrás, A. (2013). Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo. *Pastos y Forrajes*, *36*(1), 5-13. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942013000100001

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. (2015). *La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050*. Recuperado de: http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT-IDEAM. (2015). *Estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia*. Recuperado de: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023646/Sintesis.pdf

Environment & Technology ISSN: 2711 4422
Vol. 2 No. 1 Enero-Junio,2021: 142-160
URL: https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/
DOI: https://doi.org/10.56205/ret.2-1.8

Modelo de gestión para la restauración y manejo sostenible del suelo, La esmeralda sur, Tuchín – Córdoba, Colombia

Management model for the restoration and sustainable management of the soil, La Esmeralda sur, Tuchín – Córdoba, Colombia

Mónica Andrea Díaz Díaz
Ingeniera Sanitaria y Ambiental
Universidad Pontificia Bolivariana
monidiaz0924@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-7552-8385
Córdoba, Colombia

Claudia Marcela Salazar Castellanos
Ingeniera Sanitaria y Ambiental
Universidad Pontificia Bolivariana
marcelasalazar0001@hotmail.com
https://orcid.org/0000-0003-2198-1197
Córdoba, Colombia

Resumen

En esta investigación se busca evaluar la incidencia que el desarrollo del modelo tuvo en el recurso suelo, basándose a través de identificación de técnicas ancestrales y análisis de indicadores para determinar su estado actual, con la finalidad de recuperar el conocimiento ancestral y aplicarlo en los sistemas productivos, de forma que se garantice la sostenibilidad y el buen manejo del recurso.
A través de los resultados se evidencia la calidad de suelos en las diferentes zonas, donde la implementación de técnicas Zenú lograron una producción agrícola estable y eficiente para el suelo, con una mayor abundancia de nutrientes y microorganismos, que son de vital importancia para el crecimiento de las plantas.
Por último, se busca que a través de un modelo de gestión aplicando técnicas ancestrales se fortalezcan las condiciones en las características del suelo, ya que estas son realizadas teniendo en cuenta la madre tierra (Pachamama), eliminando los procedimientos mecanizados para la siembra e insumos innecesarios para así privilegiar un producto libre de genética; A fin de aplicar dicho modelo es necesario fortalecer las técnicas de las cosechas generando acciones enmarcadas a la preservación del recurso, y transferir los conocimientos adquiridos a diferentes lugares donde se privilegian los procesos agroforestales, fortaleciendo las técnicas de la agricultura actual.

PALABRAS CLAVES: Antepasados; técnicas ancestrales; restauración; agricultura sostenible, educación.

Recibido: *10/06/2021*
Revisado: *17/08/2021*
Aprobado: *23/08/2021*

Los artículos de Environment & Technology se comparten con Licencia Creative Commons: CC BY-NC-ND

Abstract

This research seeks to evaluate the impact that the development of the model had on the soil resource, based on the identification of ancestral techniques and analysis of indicators to determine its current state, in order to recover the ancestral knowledge and apply it in the productive systems, so as to ensure sustainability and good management of the resource. The results show the quality of soils in the different zones, where the implementation of Zenú techniques achieved a stable and efficient agricultural production for the soil, with a greater abundance of nutrients and microorganisms, which are of vital importance for plant growth. Finally, it is sought that through a management model applying ancestral techniques, the conditions in the soil characteristics are strengthened, since these are carried out taking into account the mother earth (Pachamama), eliminating mechanized procedures for planting and unnecessary inputs in order to privilege a product free of genetics; In order to apply this model, it is necessary to strengthen the harvesting techniques generating actions framed to the preservation of the resource, and to transfer the acquired knowledge to different places where agroforestry processes are privileged, strengthening the techniques of the current agriculture.

Key words: Ancestors; ancestral techniques; restoration; sustainable agriculture, education.

Introducción

Uno de los recursos más importantes e indispensable para el desarrollo de las actividades humanas son los suelos, los cuales son sistemas complejos y dinámicos que constituyen un componente fundamental del ambiente que cumple múltiples funciones vitales para la supervivencia humana y las relaciones sociales. Entre los servicios ecosistémicos asociados al suelo se destacan: producción de alimentos, filtrado e intercambio de gases, depuración de la contaminación, regulación climática e hídrica, reciclaje de nutrientes, filtrado de agua, soporte para industria, infraestructura y turismo, entre otros (Blum, 2005).

El actual sistema de producción agroindustrial está en crisis, lo cual pone en riesgo la biodiversidad, los suelos, su fertilidad y el agua dulce en el planeta. Los mecanismos que explican este proceso incluyen la degradación de las tierras mediante la erosión del suelo, la compactación, la disminución de materia orgánica y la biodiversidad asociada a ella, la salinización, el agotamiento de las aguas del subsuelo, la desforestación y la desertificación; así como la aparición de plagas debido a la generalización del monocultivo, a la uniformidad genética, la eliminación de enemigos naturales y la resistencia a los plaguicidas desarrollada por insectos, hierbas y enfermedades de los cultivos (Altieri, 1995).

En Córdoba el pueblo Zenú desarrolla una estrategia de supervivencia basado en un modelo de producción con bajo empleo de insumos externos. Han conservado y adaptado una gran diversidad de semillas y animales que hoy se denominan criollos o

locales desde épocas ancestrales han sido agricultores, pescadores y cazadores, logran manejar adecuadamente los humedales para la producción de alimentos que sostenían en el pasado a una gran cantidad de población, todo esto ha ido cambiando con el correr de los siglos cuando les quitaron gran parte de sus territorios ancestrales quedaron en manos de los terratenientes, ellos utilizaban la chinampa sobre la que se deposita tierra vegetal debidamente seleccionada con materias biodegradables como el pasto, hojarasca, cáscaras de diferentes frutas y vegetales, entre otras (Fals, 2002).

Se han perdido creencias y costumbres que identifican esta cultura con la tierra, pero aún persisten familias y comunidades que se aferran a no perderlo todo, especialmente las semillas (García de Alba, 2012), esto se debe a los métodos utilizados que generan menores costos, menor tiempo en su producción, más cantidad de cultivos sin necesidad de grandes recursos o trabajo. Por lo anterior se hace relevante recuperar los conocimientos ancestrales y aplicarlo, de forma que garantice la sostenible y el buen manejo del recurso suelo.

Así mismo, con el fin de dar solución a la problemática expuesta, se pretende proponer un modelo de gestión para la restauración y manejo sostenible del suelo afectado por prácticas agrícolas, utilizando técnicas ancestrales que incorporen aspectos socioeconómicos, técnicos y culturales basado en una Identificación y caracterización de las técnicas utilizadas por los antepasados Zenú para el establecimiento de un cultivo, pretendiendo evaluar la incidencia que el desarrollo del modelo propuesto tuvo en el recurso suelo, a través del análisis de indicadores del estado del suelo, con la finalidad de elaborar un documento técnico de orientación conceptual, metodológica y procedimental que sirva como guía de consulta y alineación en el manejo integral del suelo en la producción agrícola sostenible, mediante un proceso de planificación participativa.

El impacto de esta investigación radica en recuperar el conocimiento ancestral y aplicarlo en los sistemas de productivos, de forma que garantice la sostenible y el buen manejo del recurso suelo.

Metodología

La metodología utilizada para esta investigación fue de carácter mixto ya que implicó un proceso de recolección y vinculación de datos cualitativos y cuantitativos en el estudio, además buscó proponer un modelo que permitiera dar solución al problema de deterioro del recurso suelo; la tipología del estudio de la investigación fue carácter exploratorio-descriptivo puesto que se estudió mediante la identificación de sistemas de restauración de suelos y se analizaron variables técnicas, ambientales, sociales, económicas y financieras.

Del mismo modo, los métodos de investigación que se utilizaron para la realización de este estudio se soportaron, por una parte, partiendo de las técnicas ancestrales para la labranza, uso y manejo de los suelos dedicados a las actividades agrícolas, y en segunda instancia describiendo las características y rasgos de las técnicas ancestrales para los procesos agrícolas en donde se analizó la incidencia que han tenido las técnicas sobre el recurso suelo.

Para el caso de información secundaria fue necesario la aplicación de instrumentos de investigación tipo cuestionario y entrevistas con el propósito de identificar las técnicas ancestrales Zenú.

El área de estudio fue en la vereda Esmeralda Sur que se encuentra ubicada al sur del municipio de Tuchín entre las siguientes coordenadas 9°10'05.3"N 75°32'35.7"W. Como se muestra en la **figura 1**.

Figura 1. Ubicación geográfica Área de estudio Tuchín, Córdoba. Fuente: Elaboración propia.

Resultado y discusión

El cabildo menor Esmeralda Sur tiene como modelo de producción, la horticultura sedentaria, es decir, cultivos en territorios propios para los cuales no se necesita movilidad, y se tienen dos épocas de siembras que son dos la roza y la segunda, donde se recogen dos cosechas al año, y por ende, obtienen dos veces de cada producto utilizando semillas mejoradas por los agricultores de la región, aplicando las técnicas ancestrales tales como el método de las cabañuelas, la labranza mínima, los camellones, entre otros, que incide en el recurso suelo de una manera más sostenible y limpia, en donde se pretende utilizar los conocimientos ancestrales y todas las creencias de los antepasados para lograr tener mayor aprovechamiento de los cultivos teniendo en cuenta factores como el viento y las precipitaciones para conseguir la mayor

producción posible de los cultivos. En la **tabla 1** se muestran las ventajas de los diferentes modelos agrícolas.

Tabla 1.

Comparación de los modelos agrícolas a través de información primaria y segundaria.

CUADRO DE COMPARACION DE MODELOS AGRICOLAS	
Modelo de Agricultura Tecnificada	**Modelo de Agricultura Ancestral**
Surgió gracias a los avances científicos en la química agrícola, que lanzaba al mercado importantes cantidades de fertilizantes de síntesis, fungicidas, insecticidas y herbicidas.	Surge de los conocimientos ancestrales basados en el respeto a la madre tierra, han sido pasados de generación en generación.
El mejoramiento genético de cultivos tradicionales, la obtención de híbridos con características especiales de crecimiento y resistencia a condiciones limitantes.	Se cultiva con semillas puras, que se obtienen de cosechas anteriores y que son almacenadas para futuros cultivos, sin procesamiento o alteración genética.
Utilización de máquinas cada vez más sofisticadas para la mecanización de las labores agrícolas, lo cual genero aumentos en el rendimiento agrícola de los principales cultivos comerciales.	Las labores de limpieza, preparación del terreno y cultivo son realizadas por persona miembro de las familias.
El uso de análisis fisicoquímicos de suelos para pronosticar su fertilidad; la selección de nuevas variedades por atributos de rendimiento, prevención y control de enfermedades; y el desarrollo de nuevos sistemas de riego por aspersión o goteo.	Este modelo se basa en la planificación de los cultivos por etapas, de tal manera que se realizan cultivos asociados, que permiten un mejor rendimiento de los suelos, ayuda al control de plagas y mejora la fertilización del suelo. Aparte de estos se permite que los suelos descansen o reposen por un periodo de dos meses (enero y febrero).
Es considerada una agricultura de tipo comercial, inducida por un modelo de explotación típicamente capitalista, donde lo que cuenta es la relación costo-beneficio.	Producción más limpia lo que hace que los cultivos sean de mejor calidad, garantizando alimentos libres de químicos y un menor manejo a los suelos.

Fuente: Elaboración propia con información del artículo La Agricultura Ecológica como Posición Política Frente al Actual Modelo de Desarrollo Agrario Colombiano (2005).

Los habitantes de la Esmeralda Sur al implementar un modelo tecnificado para sus cultivos evidenciaron que algunos productos se recogían de mala calidad, lo cual eso genera pérdida económica y bajos insumos para su alimentación.

En la segunda siembra, hecha durante la época seca, al no contar con sistema de riego ocasionaba alteraciones y baja productividad en el ciclo del cultivo.

La quema física consiste en quemar con fuego controladamente un terreno para eliminar las malas hierbas conocidas como rastrojos, al mismo tiempo, se están eliminando los agentes biológicos que aportan nutrientes al suelo, al igual perjudica el ambiente y los terrenos ya que apresura la erosión del mismo y se estarían generando gases de efecto invernadero, lo que es necesario buscar alternativas como la reincorporación de residuos que sirvan para abono de los cultivos y concientizar a los pequeños productores sobre la desventajas que tiene la quema a lo largo de los años para así poder tener terrenos fértiles y sanos.

En la recolección de datos a través de encuesta y entrevista realizada a los habitantes de la región, se evidenciaron pérdidas en las cosechas a causa de las fuertes sequías que venía presentando el cabildo; el cultivo de maíz se recogía en menor cantidad y en el segundo cultivo no hubo cosecha de ñame, dando como resultado que la precipitación incide en el crecimiento de la planta y en la productividad del cultivo.

El área en cultivo es muy importante a la hora de querer obtener productos de mejor calidad, esto quiere decir, que un terreno sobre utilizado genera pérdidas y desequilibrio al suelo, la población del cabildo al no contar con terrenos extensos para sus cultivos, optan por no hacer un descanso de los mimos. Se evidencia en la **figura 2**.

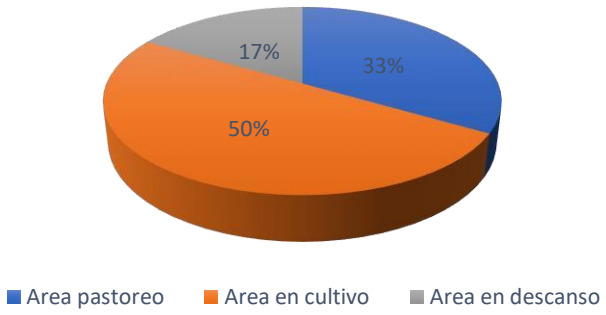


Figura 2. *Área utilizada*. Fuente: Elaboración propia

El propósito de dejar un área de descanso como se muestra en la figura 2, radica en la recuperación de los nutrientes y materia orgánica existente en ese terreno, logrando retener humedad para que la tierra recobre los minerales que se perdieron durante el cultivo, esta técnica se le conoce como el barbecho y es utilizada por comunidades indígenas. Durante este descanso el único proceso que realizan los cultivadores es el control de malezas para evitar pérdidas en los nuevos cultivos, y así no generar consumos excesivos de agua.

Los empleos generados con el proceso de cultivo varía de dos a tres personas teniendo en cuenta la capacidad económica del dueño del cultivo; los recursos provenientes para la misma producción son propios lo que la mayoría de las veces les resulta difícil su obtención partiendo de que los gastos por cosechas oscilan alrededor de 400 mil pesos a 1 millón de pesos colombianos; cifra alta en comparación a los ingresos que obtienen por otras actividades en todo el año puesto que no cuentan con apoyo financiero por parte del municipio y la recolección en la segunda es menor.

- **Variación de la cobertura vegetal del municipio.**

Mediante imágenes satelitales tomadas de una plataforma virtual, conocida como EarthExplorer, se evidenció la variación de la cobertura vegetal para diferentes años y estación climática en el municipio de Tuchín, teniendo en consideración que estas, no estuvieran dentro de los años con incidencia de eventos climáticos como lo son la niña o el niño.

En las **figuras 3 y 4** se observan imágenes satelitales para los años 1985 y 2019 en el mes de enero, por lo que se considera época de verano.

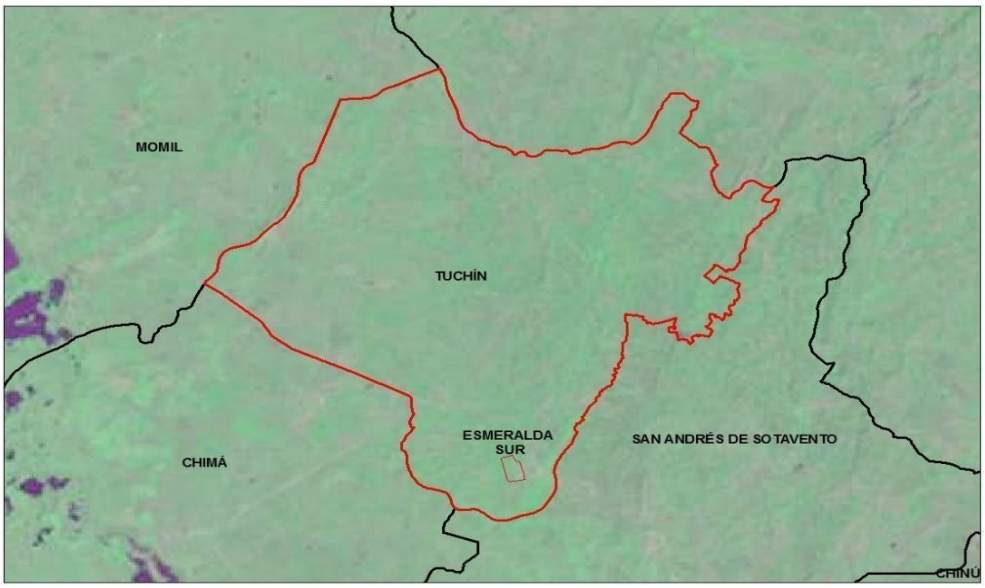


Figura 3. Imagen satelital del municipio de Tuchín (1985). Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Imagen satelital del municipio de Tuchín (2019). Fuente: Elaboración propia.

Así mismo se seleccionaron imágenes satelitales para la época de invierno en el mes de julio para los años 1990 y 2019 tal y como se muestra en las **figuras 5 y 6.**

Figura 5. Imagen satelital del municipio de Tuchín (1990). Fuente: Elaboración propia.

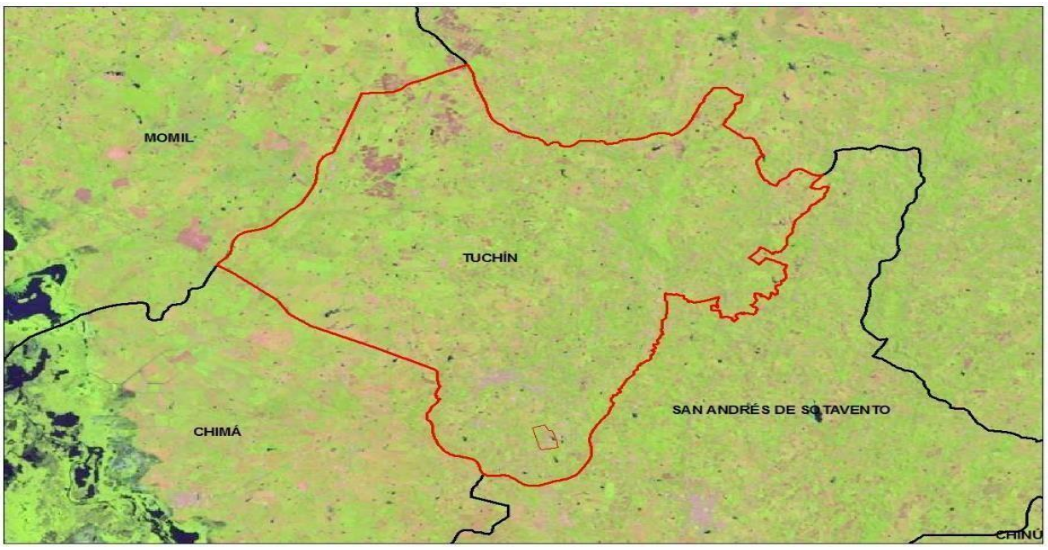


Figura 6. Imagen satelital del municipio de Tuchín (2019). Fuente: Elaboración propia.

Los usos y coberturas en el municipio de Tuchín han presentado constante variación, en 1985 en época de verano se observa que hay mayor cobertura vegetal, esto se debe que en ese tiempo todavía aplicaban las técnicas ancestrales para realización de sus cultivos, en cambio en el año 2019 todas estas técnicas quedaron en el pasado, dándole camino a la agricultura tecnificada incorporando así diversas tecnologías y soluciones avanzadas, donde se logra ver un deterioro a lo largo de los

años en el recurso suelo. Cabe mencionar que el cambio de la cobertura vegetal también se debe a causa de expansión urbana y ganadería.

Así mismo resaltando que en año 1990 y 2019 en época de inverno se observa mas coberturas vegetales, dándole paso nuevamente las técnicas ancestrales cuya finalidad es el autoconsumo familiar.

- **Metodología general para la toma de muestras de suelo.**

Según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el muestreo constituye la etapa inicial y fundamental para la adecuada interpretación. Debido a que el suelo es un material muy heterogéneo, con diferentes condiciones de origen, topografía, manejo, tipos de vegetación, entre otros, es necesario definir unidades con características más o menos similares, que permitan establecer lo que se conoce como unidades de muestreo.

Las muestras para la realización de las pruebas físicas, químicas y biológicas dependieron de tres sitios diferentes, caracterizados de la siguiente manera: un cultivo ancestral, un rastrojo en reposo o descanso desde hace dos años y por último un suelo mecanizado.

Para el análisis fisicoquímico se tomó una muestra de suelo según lo establecido en la guía de muestreo del Instituto Geográfico Agustín Codazzi 2020.

Para el análisis biológico se utilizó la metodología de monolito modificado establecida por Ingram y Anderson, (1993). Se tomaron varios puntos aleatorizados en diferentes lugares teniendo en cuenta la cantidad de hojarasca y vegetación presente el lugar y por último la aproximación a cuerpos de agua.

- **Profundidad efectiva**

Se realizaron estudios como la extracción de plantas para evidenciar la capacidad de enraizamiento y el buen desarrollo de ellas, se toma como ejemplo la yuca, sus raíces no fueron capaces de atravesar con facilidad los estratos del suelo, al medirla dio un largo de 90 cm, corroborando la capacidad de retención.

➢ **Textura**

La textura es la composición granulométrica del suelo, se mide en el laboratorio obteniéndose el porcentaje de arena gruesa, arena fina, limo y arcilla que hay en él. La **tabla 2** muestra la clase textural de cultivo ancestral y de zona de descanso.

Tabla 2.

Clase textural.

Clase textural		
Tipo	**Cultivo Ancestral**	**Zona Descanso**
Arena	54.20%	65.80%
Arcilla	12.50%	15.80%
Limo	33.30%	18.30%
Franco – Arenoso		

Fuente: Elaboración Propia

Un suelo franco arenoso es un tipo de suelo con gran productividad agrícola debido a que posea cantidades de arena, arcilla y limo ideal para los cultivos debido a que las plantas se desarrollan de la mejor manera en este tipo de suelo, porque contiene mucha materia orgánica necesaria para el crecimiento de estas; tiene buena retención de agua lo que permite que haya permeabilidad del líquido.

- **Indicadores químicos del suelo**

Para determinar este indicador fue necesario interpretar un análisis de fertilidad y clase textural a dos sitios diferentes, el primero un suelo cultivado ancestralmente y el segundo un área de cultivo en descanso. Estos análisis se realizaron en un laboratorio de suelos, en donde se vio reflejado lo siguiente.

➢ **pH**

El pH del suelo es una medida de la acidez o alcalinidad de un suelo, y afecta la disponibilidad de los nutrientes, la actividad de microorganismos, y la solubilidad de minerales del suelo. Comúnmente, valores de pH entre 6.0 y 7.5 son óptimos para el

crecimiento de la mayoría de los cultivos, esto se pudo reflejar en los resultados de un cultivo ancestral ya que presentó un pH de 6,81.

A continuación, se muestran los principales parámetros químicos obtenidos en el laboratorio (**tabla 3**).

Tabla 3.

Parámetros químicos zona de cultivos.

Parámetros Químicos	Valor	Unidades
pH	6.81	1:1
CO	1. 07	%
S	6.9	mg kg^{-1}
P	22.8	mg kg^{-1}
Ca	16.59	cmolc kg^{-1}
Mg	22.516	cmolc kg^{-1}

Fuente: Elaboración Propia.

Un alto contenido de fósforo en el suelo indica que es altamente fértil porque este contribuye con el nitrógeno para el desarrollo de las plantas.

- **Indicadores biológicos del suelo.**

En las tres zonas de estudio se encontró macrofauna edáfica representada por 11 taxones para un total de 90 individuos.

Las hormigas, arañas y termitas fueron los grupos que estuvieron presentes en las tres zonas de muestreo, los denominados ingenieros del ecosistema (Termitas y hormigas), representan el 68% de los individuos, siendo los taxones más abundantes

Las arañas, que son el tercer grupo persistente en los tres sitios, son depredadores generalistas, principalmente de isópteros (termitas). Su principal función dentro del suelo es mantener el control de la densidad poblacional de presas en el suelo y así poder atenuar un posible incremento brusco de cualquier otro gremio con especies presas (Hurtado, Manga y Sepulveda, 2007; Jones, 1990; Méndez y Equihua, 2001). Además, son organismos resistentes a perturbaciones por presión antrópica y que, debido a la

condición generalista, se le puede atribuir alta capacidad de resiliencia en los tres agroecosistemas, manteniendo o restaurando la calidad del suelo (Huhta, 2007).

En la zona de cultivos se implementaron técnicas ancestrales agroecológicas, lo que da como resultado mayor diversidad, evidenciando que si se puede cultivar y al mismo tiempo conservar el suelo (Fátima, Moreira, Huising y Bignell, 2012). En esta zona se utilizan técnicas nativas de la población y eso hace que el suelo tenga mayor abundancia de nutrientes y por ende la fauna edáfica será muy variada.

La zona de rastrojo y de suelo mecanizado, al utilizar técnicas modernas en la agricultura presentó una disminución en diversidad y abundancia, ya que al momento de preparar el terreno altera las propiedades biológicas del suelo y hacen una remoción de estratos (Murillo, Cabrera y Fernández 2019). Se evidencia en la **tabla 4** la diversidad de cada zona.

Tabla 4.

Cálculo de los Índices de calidad de suelo.

Índices calculados	Diversidad de Shannon- Wiener	Índice biológico calidad del suelo
Zona Cultivo	1.68	1.33
Zona Rastrojo	0.95	4.0
Zona Descanso	0.91	6.75

Fuente: David Reza, 2016

El índice de diversidad de Shannon muestra valores bajos en los diferentes agroecosistemas evaluados y estos registros pueden ser atribuidos a las condiciones de sequía, debido que los suelos de los puntos muestreado estaban completamente secos. Los habitantes locales ancestrales resaltaban mucho las épocas de lluvias puesto que allí, por su amplia experiencia empírica la cantidad de organismos en el suelo era mayor.

La mayor abundancia de individuos se encontró en la zona de cultivos y se le atribuye a la presencia de árboles propiciando hojarasca para el alimento, como se muestra en la **figura 7**.

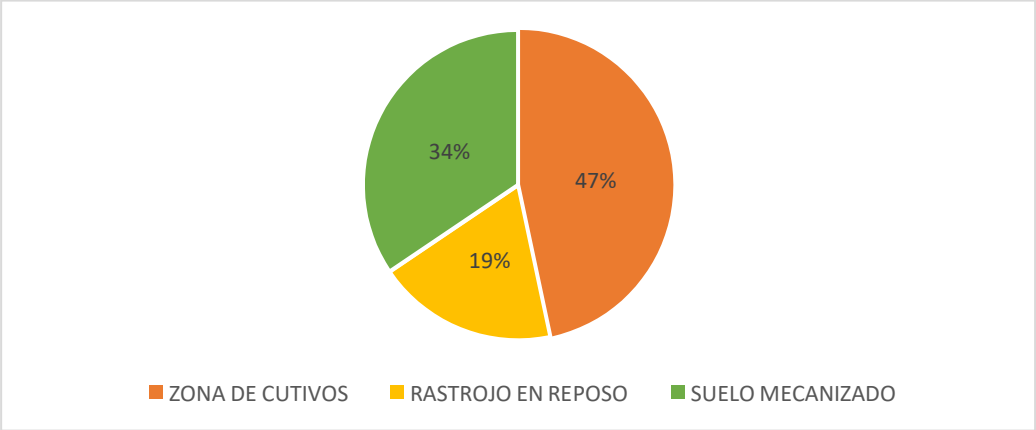


Figura 7. Abundancia total de la fauna por cada sitio de estudio. Fuente: Elaboración Propia

La diferencia de abundancia puede atribuirse a la cantidad de estiércol y/o materia orgánica disponible en los suelos de cultivos.

Para finalizar, se concluye que el estado biológico del suelo en los tres sitios de muestreo se compone de una variedad de organismos de la macrofauna como indicadores ecológicos importantes. Dicho lo anterior, se infiere que el suelo de la zona de cultivo (ZC) es el que mejor estado de salud tiene, puesto que posee la mayor diversidad, resiliencia frente las condiciones de sequía y presión antrópica obteniendo un alto porcentaje de abundancia con respecto a grupos indicadores incidentes de manera positiva en la estabilidad física y fertilidad del suelo apoyando directamente el uso eficiente e impacto positivo de las técnicas ancestrales (Huerta et al., 2008).

- **Modelo de gestión para la restauración y manejo sostenible del suelo**

El Modelo de gestión para la restauración y manejo sostenible del suelo afectado por prácticas agrícolas, incluye diferentes componentes: En primera instancia se debe contar con semillas que presenten buena adaptación a las condiciones del medio y requerir de pocos insumos y ninguna mecanización de suelos. Debe garantizar una producción por unidad de área que permita suplir o satisfacer las necesidades alimentarias de las familias, obtención de semilla de buena capacidad reproductiva y generar excedentes de producción.

En segunda instancia, el modelo debe contar con un suelo que reúna las condiciones de textura y pocos mecanizados aptos para los cultivos. Un suelo que cuente con riqueza y abundancia de nutrientes a través de una rica biodiversidad para el crecimiento de las plantas.

A continuación, se establecieron unas líneas estratégicas basándose en la política para la gestión sostenible del recurso suelo.

- **Línea estratégica 1: Preservación, restauración y uso sostenible del suelo.**

El programa de conservación de suelos en la Esmeralda Sur buscó la manera correcta de crear acciones para el mejoramiento estructural de la comunidad y subsanar problemas como la falta de lluvias en temporadas secas, a su vez, se planteó la idea de poder comercializar sus productos orgánicos en donde puedan recibir bonificaciones para así tener flujos de dinero y al mismo tiempo queden para el autoconsumo.

Se establecieron lineamientos para el desarrollo de cultivos y cosechas en donde se describen el proceso al momento de iniciar los cultivos, empezando por una buena preparación del terreno con técnicas Zenú, mejorando los sistemas de siembra para así tener cosechas mucho más limpias y orgánicas.

- **Línea estratégica 2: Educación, capacitación y sensibilización.**

Buscó promover la ejecución de buenas prácticas para la conservación y el buen manejo del recurso suelo, a través de la educación ambiental ya sea de manera grupal o individual se realizan capacitaciones en donde se hable de la importancia del suelo y las causas de su degradación.

Cabe señalar, que en las distintas visitas realizadas al Cabildo se evidenció la escasez de programas o de lineamientos encaminados a las buenas prácticas de cultivos puesto que la mayoría de los pequeños productores tienen el conocimiento ancestral que debe ser divulgado a los más jóvenes. Por lo descrito anteriormente, fue necesario implementar planes de orientación a la comunidad para así poder fortalecer los conocimientos de los habitantes.

Conclusiones

El estudio anterior evidenció cómo las técnicas agrícolas ancestrales de la comunidad del cabildo menor la Esmeralda Sur, pueden seguir siendo implementadas mediante la identificación de técnicas por parte de la comunidad en donde se minimicen los daños causados al suelo a través de conocimientos ancestrales.

Desde el punto de vista de manejo y conservación, utilizan pocos insumos agrícolas lo que conlleva a prácticas eficientes y sostenibles en donde prevalece un sistema de producción con técnicas ancestrales que permite la obtención de productos orgánicos y de buena calidad.

Frente al manejo de los suelos realizado en el cabildo se encontró que las condiciones físicas demostraron que sus componentes tales la profundidad efectiva para los cultivos como yuca tienen una alta profundidad de enraizamiento indicando un buen desarrollo de esta, un suelo con capacidad de retención de humedad a altas temperaturas y con bajas precipitaciones, lo que conlleva al buen uso y a la aplicación de conocimientos ancestrales para la restauración y conservación de los suelos.

Con relación a sus indicadores químicos, las técnicas zenú permiten mantener un pH óptimo y una buena relación suelo-planta debido a que presenta gran cantidad de materia orgánica presente en el suelo que se evidenciaron a través de la identificación biológica, en donde los microorganismos presentaron resiliencia a factores como la temperatura, gracias al uso de técnicas ancestrales dando como resultado suelos fértiles e idóneos para los cultivos de esa región.

Para la implementación del modelo de gestión restauración y manejo sostenible se establecieron unas líneas estratégicas que incluyen programas organizacionales para la comercialización de los productos, prácticas adecuadas de conservación de suelos y lineamientos para fortalecer las prácticas de preparación del suelo, mejorar los sistemas de siembra y así mismo perfeccionar la asistencia y mantenimiento de los cultivos para un buen manejo de las cosechas y pos-cosechas.

Referencias

Altieri, M. (1995). *Bases científicas para una agricultura sostenible*. Recuperado de http://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf

Blum, W. (2005). Funciones del suelo para la sociedad y el medio ambiente. *Rev Environ Sci Biotechnol*. 4, 75–79. Recuperado de: https://doi.org/10.1007/s11157-005-2236-x

Fals, O. (2002). Historia doble de la costa. *Retorno a la tierra*, Serie maestros de la sede, *Ancora Editores,* 4, 1-19. Recuperado de https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2996/01PREL01.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Fátima, M., Moreira, E., Huising, J., y Bignell, D. (2012). *Manual de biología del suelo tropical. Muestreo y caracterizacion de la biodiversidad bajo suelo*. México, D.F: Editorial Instituto Nacional de Ecología.

García de Alba J. (2012). Saberes culturales y salud: una mirada de la realidad polifacética. *Unidad de Investigación Social, Epidemiológica y de Servicio de Salud*. 39, 89-102. Recuperado de https://desacatos.ciesas.edu.mx/index.php/Desacatos/article/view/242/122

Huerta, E., Rodríguez, J., Evia, I., Montejo, E., Cruz, D., y García, R. (2008). Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macroinvertebrados. *Terra Latinoamericana*, *26*(2), 171-181.

Huhta, H. (2007). The role of soil fauna in ecosystems: *A historical review*. *Pedobiología* ,50 489-495. Recuperado desde https://www.researchgate.net/publication/308200739_Soil_Fauna_A_Retrospection_with_Reference_to_Indian_Soil

Hurtado, Y., Manga, D., y Sepúlveda, A. (2017). Registro de termitas (Isoptera) asociadas a cultivos de mango (Mangifera indica) en el departamento del Magdalena, Colombia. *Intropica, 12:* 109-115.

Ingram, S., y Anderson, J. (1993). *Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods*. *Wallingford CAB International*. 2, 1-221. Recuperado de https://searchworks.stanford.edu/view/2836042

Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAA. (2020). *Guía de muestreo para clientes*. Recuperado de https://www.igac.gov.co/es/contenido/analisis-de-las-propiedades-fisicas-quimicas-biologicas-o-mineralogicas-de-los-suelos

Jones, J. (1990). Termites, soil fertility and carbon cycling in dry tropical Africa: A hypothesis. *Journal of Tropical Ecology*, 6, 291-305. Recuperado de https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-tropical-ecology/article/termites-soil-fertility-and-carbon-cycling-in-dry-tropical-africa-a-hypothesis/3AF4BD8FF2C022F9059314427437796F
DOI: https://doi.org/10.1017/S0266467400004533

Méndez, T., y Equihua, M. (2001) Diversidad y manejo de los termes de México (Hexapoda, Isoptera). *Acta Zoológica Mexicana*, 1, 173-187. Recuperado de http://azm.ojs.inecol.mx/index.php/azm/article/view/1850/1964

Murillo, D., Adame, J., Cabrera, H., y Fernández, A. (2019). Fauna y microflora edáfica asociada a diferentes usos de suelo. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 6(16), 23-33. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/331058096_Fauna_y_microflora_edafica_asociada_a_diferentes_usos_de_suelo