

SEP

POLIBOTÁNICA

ISSN 1405-2768



Enero 2023

Núm. 55

POLIBOTÁNICA



CONACYT



Núm. 55

Enero 2023

PÁG.	CONTENIDO
1	Análisis de trazos de la pteridoflora del estado de Hidalgo, México <i>Track analysis of the pteridoflora of Hidalgo, Mexico</i> Goyenechea Mayer-Goyenechea, I. V.Y. Anaya Cisneros J.M. Castillo-Cerón G. Montiel-Canales
15	<i>Salvia divinorum</i> (Lamiaceae) un nuevo registro para Veracruz, México <i>Salvia divinorum (Lamiaceae) a new record for Veracruz, Mexico</i> Castillo-Campos, G. J.G. García-Franco M. Luisa Martínez I. Fragoso-Martínez
25	Estructura y diversidad arbórea de un bosque de pino-encino en Huiztlatzala, Guerrero, México <i>Structure and tree diversity of a pine-oak forest in Huiztlatzala, Guerrero, Mexico</i> Rodríguez Pacheco, A. M. I. Palacios Rangel L. Mohedano Caballero A. Villanueva Morales
41	Riqueza, estructura y diversidad florística en huertos familiares del sureste del estado de Morelos: una aproximación biocultural <i>Richness, structure and floristic diversity in homegardens of the southeast of Morelos state: a biocultural approach</i> Tegoma Coloreano, A. J. Blancas A. García Flores L. Beltrán-Rodríguez
67	Efectos de jales mineros y materia orgánica en la supervivencia de <i>Arbutus xalapensis</i> Kunth propagado simbióticamente <i>Effect of mining tailings and organic matter on the survival of symbiotically propagated Arbutus xalapensis Kunth</i> Rodríguez González, F. M. Rangel Villafranco A.R. Velasco Reyes J.M. Gómez Bernal E.A. Ruiz Huerta
81	Concentración de kinetina y tipo de explante en la multiplicación <i>in vitro</i> de <i>Sequoia sempervirens</i> (D. Don). Endl. <i>Kinetin concentration and explant type in in vitro multiplication of Sequoia sempervirens (D. Don). Endl.</i> Castro Garibay, S.L. A. Villegas Monter I.J. Cruz Larios
95	Actividad antioxidante y citotóxica del aceite esencial de las hojas de laurel aromático (<i>Litsea glaucescens</i> Kunth) <i>Antioxidant and cytotoxic activity of essential oil from aromatic bay leaves (Litsea glaucescens Kunth)</i> Tepixtle-Colohua, V.V. M.R. González-Tepale D. Guerra-Ramírez B. Reyes-Trejo H. Zuleta-Prada A.M. Borja-de la Rosa F. Reyes-Fuentes
109	Evaluación <i>in vitro</i> del efecto antibacteriano de los extractos de <i>Bidens pilosa</i> y <i>Eryngium foetidum</i> <i>In vitro evaluation of the antibacterial effect of extracts of Bidens pilosa y Eryngium foetidum</i> Chafila-Molina, A. L. L. M. Silva-Deley
121	Desinfección de adulto pecan leaflets, and <i>in vitro</i> callogenesis induction <i>Desinfección de foliolos de nogal pecanero adulto, e inducción de calogénesis in vitro</i> Gándara-Ledezma, V. L. Tinco-García J.L. Rodríguez-de la O L. Castro-Espinoza S. Ruiz-Cruz A. Márquez-Cervantes M.A. Gutiérrez-Coronado
145	Estudios para la conservación y aprovechamiento de <i>Chrysactinia mexicana</i> , planta aromática y medicinal nativa de México <i>Studies for the conservation and use of Chrysactinia mexicana, an aromatic and medicinal plant native to Mexico</i> Magallán-Hernández, F. J.A. Valencia-Hernández R. Sánchez-Castillo
161	Usos del palo dulce <i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ort.) Sarg., en cuatro municipios del estado de Morelos, México <i>Uses of kidneywood Eysenhardtia polystachya (Ort.) Sarg., in four municipalities of the state of Morelos, Mexico</i> Lorenzo-Barrera, N.A. M. Andrade Rodríguez O.G. Villegas Torres E. Román Montes de Oca H. Sotelo Nava T. de J. Rodríguez Rojas R. Suárez Rodríguez
179	Valor cultural de la flora medicinal de las etnias Mochó y Kakchikel del estado de Chiapas, México <i>Cultural significance of medicinal plants amongst Mochó and Kakchikel ethnic groups of the state of Chiapas, Mexico</i> Trigueros-Vázquez, I.Y.: O. Ruiz-Rosado; F. Gallardo-López; B.F. Solís-Guzmán; F. Morales-Trejo y G. López-Romero
197	Estudio de plantas medicinales en el municipio de Pachuca de Soto Hidalgo, México <i>Study of medicinal plants in the municipality of Pachuca of Soto Hidalgo, Mexico</i> Lara Reimers, E.A. A.R. García Hernández F. Cruz García D. Urresti Duran J.A. Gonzales Fuentes J.A. Encina Domínguez Y. Uribe Salazar
213	Plantas silvestres comestibles del estado de Aguascalientes, México, sus formas de consumo y comercialización <i>Edible wild plants of Aguascalientes, Mexico, their forms of consumption and commercialization</i> Sandoval-Ortega, M.H. E.E. De Loera-Avila V.M. Martínez-Calderón S.G. Zumaya-Mendoza
231	Recursos forestales no maderables utilizados en elaboración de artesanías en la comunidad de Malinalco, Estado de México <i>Non-timber forest resources used in elaboration of handicrafts in the community of Malinalco, State of Mexico</i> White-Olascoaga, L. C. Chávez-Mejía D. García-Mondragón M. Michua-Hernández
245	Respuesta en el sistema de defensa antioxidante de <i>Leersia hexandra</i> Sw. a la exposición de hidrocarburos del petróleo <i>Response in the antioxidant defense system of Leersia hexandra Sw. to the exposure of petroleum hydrocarbons</i> Oroció-Carrillo, J.A. M.C. Rivera-Cruz A. Juárez-Maldonado C.C. Bautista-Muñoz Y. González-García K. Chávez-Alvarez

POLIBOTÁNICA

Núm. 55

ISSN electrónico: 2395-9525

Enero 2023

Portada

Bidens pilosa L. Asteraceae. "Acahual".
Achenios de 5 a 18 mm de largo, los interiores lineares y más largos, los exteriores más o menos comprimidos dorso-ventralmente y más cortos, negruzcos a café, vilano con 3-2 aristas amarillas, de 1 a 3 mm de largo. Planta con múltiples propiedades terapéuticas, considerada en medicina popular como diurética y febrífuga, estomacal y antiulcerosa, para curar catarros con fiebre, faringitis y amigdalitis.



Bidens pilosa L. Asteraceae. "Acahual".
Achenes 5 to 18 mm long, inner ones linear and longer, outer ones more or less dorso-ventrally compressed and shorter, blackish to brownish, pappus with 3-2 yellow awns, 1 to 3 mm long. Plant with multiple therapeutic properties, considered in folk medicine as diuretic and febrifuge, stomachic and anti-ulcerous, to cure colds with fever, pharyngitis, and tonsillitis.

por/by **Rafael Fernández Nava**



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Director General: *Dr. Arturo Reyes Sandoval*

Secretario General: *Ing. Arq. Carlos Ruiz Cárdenas*

Secretario Académico: *Mtro. Mauricio Igor Jasso Zaranda*

Secretario de Innovación e Integración Social: *M. en C. Ricardo Monterrubio López*

Secretario de Investigación y Posgrado: *Dra. Laura Arreola Mendoza*

Secretario de Servicios Educativos: *Dra. Ana Lilia Coria Páez*

Secretario de Administración: *M. en C. Javier Tapia Santoyo*

Director de Educación Superior: *Dra. María Guadalupe Ramírez Sotelo*

ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Maestra Decana en Funciones de Dirección:

M. en C. Yadira Fonseca Sabater

Subdirectora Académica:

M. en C. Martha Patricia Cervantes Cervantes

Jefe de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación:

Dr. Gerardo Aparicio Ozores

Subdirector de Servicios Educativos e Integración Social:

Biól. Gonzalo Galindo Becerril

POLIBOTÁNICA, Año 28, No. 55, enero-junio 2023, es una publicación semestral editada por el Instituto Politécnico Nacional, a través de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Unidad Profesional Lázaro Cárdenas, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomas C.P. 11340 Delegación Miguel Hidalgo México, D.F. Teléfono 57296000 ext. 62331. <http://www.herbario.encb.ipn.mx/>, Editor responsable: Rafael Fernández Nava. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2015-011309001300-203. ISSN impreso: 1405-2768, ISSN digital: 2395-9525, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de informática de la ENCB del IPN, Rafael Fernández Nava, Unidad Profesional Lázaro Cárdenas, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomas CP 11340 Delegación Miguel Hidalgo México, D.F.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Politécnico Nacional.

REVISTA BOTÁNICA INTERNACIONAL DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

EDITOR EN JEFE

Rafael Fernández Nava

EDITORA ASOCIADA

María de la Luz Arreguín Sánchez

COMITÉ EDITORIAL INTERNACIONAL

Christiane Anderson
University of Michigan
Ann Arbor, Michigan, US

Edith V. Gómez Sosa
Instituto de Botánica Darwinion
Buenos Aires, Argentina

Heike Vibrans
Colegio de Postgraduados
Estado de México, México

Jorge Llorente Bousquets
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad de México, México

Graciela Calderón de Rzedowski
Instituto de Ecología del Bajío
Pátzcuaro, Mich., México

Delia Fernández González
Universidad de León
León, España

Theodore S. Cochrane
University of Wisconsin
Madison, Wisconsin, US

Jerzy Rzedowski Rotter
Instituto de Ecología del Bajío
Pátzcuaro, Mich., México

Hugo Cota Sánchez
University of Saskatchewan
Saskatoon, Saskatchewan, Canada

Luis Gerardo Zepeda Vallejo
Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México, México

Fernando Chiang Cabrera
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad de México, México

Claude Sastre
Muséum National d'Histoire Naturelle
Paris, Francia

Thomas F. Daniel
California Academy of Sciences
San Francisco, California, US

Mauricio Velayos Rodríguez
Real Jardín Botánico
Madrid, España

Francisco de Asis Dos Santos
Universidad Estadual de Feira de Santana
Feira de Santana, Brasil

Noemí Waksman de Torres
Universidad Autónoma de Nuevo León
Monterrey, NL, México

Carlos Fabián Vargas Mendoza
Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México, México

Julieta Carranza Velázquez
Universidad de Costa Rica
San Pedro, Costa Rica

José Luis Godínez Ortega
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad de México, México

Tom Wendt
University of Texas
Austin, Texas, US

José Manuel Rico Ordaz
Universidad de Oviedo
Oviedo, España

DISEÑO Y FORMACIÓN ELECTRÓNICA

Luz Elena Tejeda Hernández

OPEN JOURNAL SYSTEM Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Pedro Aráoz Palomino

Toda correspondencia relacionada con la revista deberá ser dirigida a:

Dr. Rafael Fernández Nava

Editor en Jefe de

POLIBOTÁNICA

Departamento de Botánica

Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional

Apdo. Postal 17-564, CP 11410, Ciudad de México

Correo electrónico:

polibotanica@gmail.com

rfernan@ipn.mx

Dirección Web

http://www.polibotanica.mx

POLIBOTÁNICA es una revista indexada en:

CONACYT, índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica y Tecnológica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

SciELO - Scientific Electronic Library Online.

Google Académico - Google Scholar.

DOAJ, Directorio de Revistas de Acceso Público.

Dialnet portal de difusión de la producción científica hispana.

REDIB Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico.

LATINDEX, Sistema regional de información en línea para revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.

PERIODICA, Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.



EFECTOS DE JALES MINEROS Y MATERIA ORGÁNICA EN LA SUPERVIVENCIA DE *Arbustus xalapensis* Kunth PROPAGADO SIMBIÓTICAMENTE

EFFECT OF MINING TAILINGS AND ORGANIC MATTER ON THE SURVIVAL OF SYMBIOTICALLY PROPAGATED *Arbutus xalapensis* Kunth

Rodríguez González, F.; M. Rangel Villafranco; A.R. Velasco Reyes; J.M. Gómez Bernal y E.A. Ruiz Huerta

EFECTOS DE JALES MINEROS Y MATERIA ORGÁNICA EN LA SUPERVIVENCIA DE *Arbustus xalapensis* Kunth PROPAGADO SIMBIÓTICAMENTE

EFFECT OF MINING TAILINGS AND ORGANIC MATTER ON THE SURVIVAL OF SYMBIOTICALLY PROPAGATED *Arbutus xalapensis* Kunth



Efectos de jales mineros y materia orgánica en la supervivencia de *Arbutus xalapensis* Kunth propagado simbióticamente

Effect of mining tailings and organic matter on the survival of symbiotically propagated *Arbutus xalapensis* Kunth

Rodríguez González, F.;
M. Rangel Villafranco;
A.R. Velasco Reyes;
J.M. Gómez Bernal
y E.A. Ruiz Huerta

EFFECTOS DE JALES
MINEROS Y MATERIA
ORGÁNICA EN LA
SUPERVIVENCIA DE
Arbutus xalapensis Kunth
PROPAGADO
SIMBIÓTICAMENTE

EFFECT OF MINING
TAILINGS AND ORGANIC
MATTER ON THE
SURVIVAL OF
SYMBIOTICALLY
PROPAGATED *Arbutus*
xalapensis Kunth

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 53: 67-80 Enero 2023

DOI:

10.18387/polibotanica.55.5

F. Rodríguez González
M. Rangel Villafranco
A.R. Velasco Reyes

Laboratorio de cultivo de tejidos vegetales y microscopía,
Universidad Intercultural del Estado de México, Lib. Francisco Villa S/N,
Col. Centro, 50640 San Felipe del Progreso, Estado de México.

J.M. Gómez Bernal / gupi02@yahoo.com.mx

Departamento de Biología, Facultad de química,
Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior S/N,
Coyoacán, Cd. Universitaria, 04510, CDMX, México.

E.A. Ruiz Huerta

Departamento Recursos Naturales, Instituto de Geofísica,
Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior S/N,
Coyoacán, Cd. Universitaria, 04510, CDMX, México.

RESUMEN: Las actividades de extracción de minerales han dejado una gran cantidad de sitios contaminados conocidos como “jales” y terraplenes, que presentan concentraciones de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) y nula presencia de materia orgánica lo que impide el establecimiento de cobertura vegetal. Estos sitios pueden ser rehabilitados usando tecnologías de biorremediación, como la fitorremediación asistida por microorganismos y técnicas agronómicas como la adición de materia orgánica. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de jales mineros y materia orgánica en la supervivencia de *Arbutus xalapensis* Kunth (Ericaceae) propagados simbióticamente con hongos micorrízicos ericoides. Se establecieron 6 tratamientos evaluando la supervivencia, crecimiento, biomasa y presencia o ausencia de colonización micorrízica después de 6 meses. Los resultados observados muestran que la mayor supervivencia se dio en los tratamientos sin materia orgánica teniendo una supervivencia de 91 y 94%, mientras que la altura de las plantas presentó diferencias estadísticamente significativas, teniendo un solo tratamiento que es diferente del resto con menor crecimiento Terraplén de 150 años + suelo + agrolita. Para la colonización micorrízica no se encontraron diferencias, entre los tratamientos con contaminantes y sin contaminantes, observando que los procesos de simbiosis entre hongos y las raíces de los árboles no se ve afectada por la presencia de EPT, siendo viable la fitorremediación de jales con *A. xalapensis* y micorrizas.

Palabras clave: Biorremediación, Fitorremediación, Hongos Micorrízicos, Elementos Potencialmente Tóxicos, Simbiosis.

ABSTRACT: Mineral extraction activities have left a large number of contaminated sites known as "tailings" and embankments, which have concentrations of Potentially Toxic Elements (PTE) and there is no presence of organic matter, which prevents the establishment of vegetation cover. These sites can be rehabilitated using bioremediation technologies, such as microbial-assisted phytoremediation, and agronomic techniques such as the addition of organic matter. The objective of this

work was to evaluate the effect of mining tailings and organic matter on the survival of *Arbutus xalapensis* Kunth (Ericaceae) propagated symbiotically with ericoid mycorrhizal fungi. Six treatments were established, evaluating survival, growth, biomass and presence or absence of mycorrhizal colonization after 6 months. The observed results show that the greatest survival is found in the treatments without organic matter, having a survival of 91 and 94%, while the height of the plants presented statistically significant differences, having a single treatment that is different from the rest with lower growth embankment of 150 years + soil + agrolite, while for mycorrhizal colonization no significant differences were found between the treatments with contaminants and without contaminants, observing that the symbiosis processes between fungi and tree roots are not affected by the presence of EPT, being viable the phytoremediation of tailings with *A. xalapensis* and mycorrhizae.

Keywords: Bioremediation, Phytoremediation, Mycorrhizal Fungus, Potentially Toxic Elements, Symbiosis.

INTRODUCCIÓN

El proceso de extracción de minerales realizado a nivel mundial y en México practicado por más de 500 años, ha dejado una gran cantidad de sitios contaminados por residuos llamados jales que son definidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003 (SEMARNAT, 2004) como el resultado de las operaciones primarias de extracción de minerales que son acumulaciones de roca extraída en trabajos de explotación, pero que contienen porcentaje de mineral aprovechable (Barbosa Gay & González, 2014) y terreros que son definidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-157-SEMARNAT-2009 como Residuos conformados por apilamiento de material mineral de baja ley que no pasaron por el proceso de extracción (SEMARNAT, 2011).

Estos residuos llegan a presentar Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT), representados por metales y metaloides (Montes Rocha, 2016), que al encontrarse a la intemperie generan un proceso químico denominado Drenaje Acido de Mina (DAM), el cual consiste en el contacto de minerales como carbón, sulfuros metálicos, hierro y uranio, con moléculas de oxígeno y agua, lo que provoca la lixiviación de estos, aumentando su pH (Aduvire, 2006). Esto genera problemas de salud y ambientales por lo que la estabilización de estos sitios puede ser mediante procesos de biorremediación o fitorremediación. Esta última técnica aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos (Delgadillo-López, *et al.*, 2011).

Otra estrategia para facilitar el establecimiento de la vegetación es agregar materia orgánica, ya que esta estabiliza y une a las partículas del suelo en agregados estructurales, mejorado la capacidad del suelo para almacenar y permitir el flujo de agua y aire, proporciona nutrientes, incrementa la capacidad de intercambio catiónico y disminuye la posibilidad de compactación, técnica conocida como remediación inducida (Carrillo-González, 2017).

De la misma forma, la adición de microorganismos simbióticos, ayuda al establecimiento de vegetación. Dentro de estos se encuentran los hongos micorrízicos: arbusculares, ericoides y ectomicorrízicos ya que son capaces de inmovilizar de forma efectiva los metales al unirlos con la pared celular de las hifas (Vital Vilchis, 2019), siendo esta estrategia viable para la recuperación de sitios contaminados por residuos de minería.

El sitio de estudio pertenece al municipio de Mineral de Angangueo, en el Estado de Michoacán en donde se ha desarrollado la actividad minera desde el periodo colonial, por lo que, en estudios realizados por Ruiz *et al.*, (com. Pers.) en cuerpos de agua cercanos a un terrero y un jal de 150 y 100 años de antigüedad respectivamente, se encontraron altos niveles de EPT (As, Fe, Zn y Mg). Por lo tanto, se considera que los EPT pueden estar presentes en los diferentes ambientes relacionados a la actividad minera, en este sentido se han considerado estrategias de

recuperación y/o retención de los contaminantes con vegetación que pueda servir como barrera o como especies acumuladoras para disminuir las concentraciones de EPT en el suelo, Aramburu *et al.* (2009), aporta un listado de especies nativas con potencial para ser usadas en procesos de biorremediación y Liu *et al.* (2000) han hecho estudios de plantas para fitorremediación como *Zea maíz*, en ambos casos analizando la presencia de interacciones simbióticas que favorecen este proceso. *Arbutus xalapensis* Kunth (Ericaceae), es una especie nativa que establece relaciones simbióticas y es capaz de crecer en suelos con altas concentraciones de metales pesados (Díaz Armendáriz, 2018). Estas plantas desarrollan raíces laterales especializadas de diámetro estrecho, con una anatomía simple, con un cilindro vascular rodeado de una o dos filas de células corticales y una capa epidérmica, la asociación implica la colonización de las células epidérmicas por hifas fúngicas seguida de la formación de una hifa ramificada en cada célula colonizada (Peterson *et al.*, 2004).

Por lo anterior el objetivo del presente estudio es evaluar la supervivencia y crecimiento de *Arbutus xalapensis* simbióticos sobre residuos mineros enmendados con materia orgánica, así como conocer el porcentaje de colonización micorrízicas y diversidad de morfotipos micorrízicos, para implementarse en fitorremediación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Área de Estudio

Se tomaron muestras de un jal minero de 100 años y un terrero de 150 años en el municipio de Mineral de Angangueo, Michoacán. El cual se localiza al oriente del Estado de Michoacán en las coordenadas 19°37'00" de latitud norte y en los 100°17'00" de longitud oeste a una altura de 2,580 msnm (Fig. 1) (INEGI, 2016).

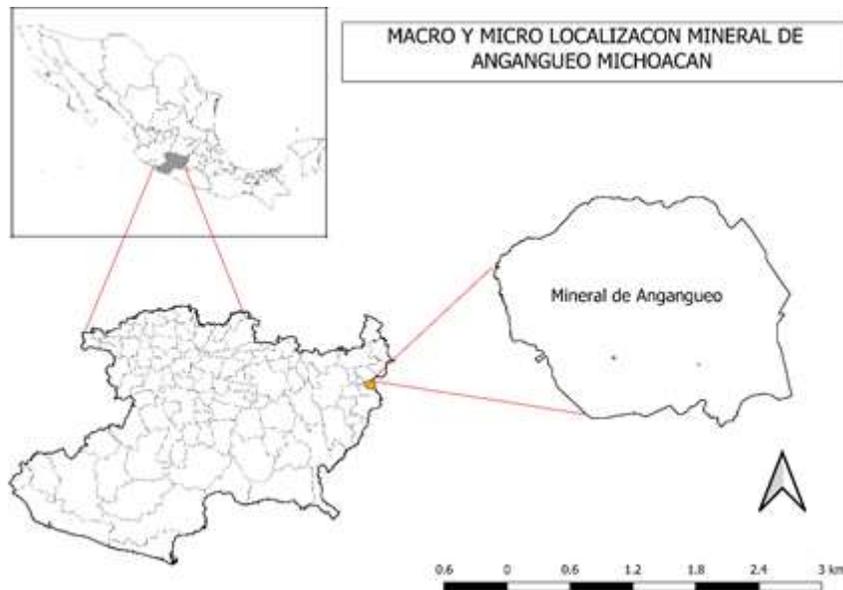


Fig.1. Localización del Área de Estudio (Mineral De Angangueo, Michoacán).

Descripción del Área de Estudio

Estudios históricos realizados en el área muestran que la explotación Minera en el sitio inicio desde el periodo prehispánico, hasta el año 1992 (Servicio Geológico Mexicano, 2018), generando grandes cantidades de residuos, depositados en presas de jales y terreros, estos con las características de no contar con cobertura vegetal, lo que provoca la movilidad de los EPT.

Los análisis realizados a los cuerpos de agua cercanos arrojaron la presencia de elementos como Arsénico (As) con un promedio de 1.68 mg/l, Hierro (Fe) con 313.33 g/l, Zinc (Zn) 80 mg/l y Magnesio (Mg) con 35 m/l, algunos por arriba de los límites permisibles por las normas oficiales en México (Tabla 1).

Tabla 1. Concentraciones de elementos potencialmente tóxicos encontrados en jales muestreados *Ruiz et al. in press*. Las concentraciones de metales y metaloides están expresadas en mg/l.

Nombre	pH	SO ₄	As	Fe	Zn	Mg
Rio Carrillo (parte superior)	7.14	19.61	1.32	0.16	nd	nd
Rio Carrillo (parte inferior)	7.11	19.61	1.27	0.07	nd	nd
Lixiviados del jal Carrillo	2.48	5278	2.44	940	240	105
<i>Limites permisible en ríos</i>	6.5-8	100	0.2	1	10	0.1

Los niveles marcados en rojo sobrepasan las concentraciones permisibles en Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017 que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. nd (no detectado).

Tratamientos, Diseño y Unidad Experimental

Se seleccionó a la especie vegetal *A. xalapensis* al ser capaz de crecer en suelos con altas concentraciones de metales pesados (Díaz Armendáriz, 2018), es un árbol de 10 a 20 metros de altura, perennifolio, de importancia ecológica y económica y que ha sido poco estudiada y con problemas de amenaza (Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001) (SEMARNAT, 2002). Se distribuye en México en por los estados de Chihuahua, Nuevo León, Durango, Sinaloa, Jalisco, Oaxaca, Michoacán, San Luis Potosí, Guanajuato, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y Veracruz. Forma parte del matorral xerófilo y de bosques de *Quercus* y Coníferas.

Se probaron un total de 4 tratamientos y dos controles con diferentes condiciones: sin materia orgánica y con materia orgánica (T1 y T2) con 35 repeticiones cada uno (Tabla 2). Usando lombricomposta como materia orgánica, sobre residuos mineros de Jal (100 años) y Terrero (150 años). El experimento bajo condiciones de invernadero duro 6 meses, con base al trabajo realizado por Ríos (2019). Para establecer los tratamientos se usaron como unidades experimentales 210 árboles de la especie *A. xalapensis*, de 6 meses de edad propagados sobre suelo rizosférico, que permitió el establecimiento de la micorriza misma que fue constatada al tomar muestras de las raíces de cada árbol, estos fueron colocados en macetas de 2 kg aproximadamente, con una base de papel filtro llenados en las siguientes proporciones:

Tratamientos con materia orgánica: 1/3 de suelo rizosférico, 2/3 de sustrato (jal de mina/terrero) y 100 g de enmienda orgánica (lombricomposta). Tratamientos con agrolita: 1/3 de suelo, 1/3 de sustrato (jal de mina/terrero) y 1/3 de agrolita. Los elementos que se utilizaron como sustrato no fueron esterilizados para simular las condiciones de revegetación que dan sobre los jales.

Tabla 2. Tratamientos establecidos para evaluar supervivencia de *A. xalapensis* micorrizados, crecimiento, colonización micorrizica y caracterización de morfotipos micorrizicos.

Tratamiento	Condición
T1	Suelo = control 1
T2	Suelo + MO control 2
T3	Terraplén de 150 años + suelo + agrolita
T4	Jal de 100 años + suelo + agrolita
T5	Terraplén de 150 años + suelo + MO
T6	Jal de 100 años + Suelo + MO

C=control; S+MO=Suelo+ Materia orgánica; T150+S+A=Terraplén 150 años+Suelo+Agrolita; 100+S+A= Jal 100 años+Suelo+Agrolita; T150+S+MO= Terraplén 150 años, Materia Orgánica, Suelo; 100+MO+S=Jal 100 años Materia Orgánica+Suelo.

Evaluación de supervivencia y crecimiento

Para realizar la evaluación de la supervivencia y crecimiento se contabilizaron y midieron desde la base del sustrato el total de árboles por tratamiento y se les asignó un número consecutivo al iniciar el experimento, registrándolos en una base de datos. Al finalizar el tiempo de evaluación, se contabilizaron y midieron nuevamente, y se ignoraron los individuos muertos, para obtener el porcentaje de supervivencia final. Se realizó un análisis estadístico ANOVA y prueba de Tukey usando el software Statistica 7 a la variable de Crecimiento, para observar si se presentaron diferencias significativas en los tratamientos.

Crecimiento total y biomasa

Para el análisis de crecimiento total se contabilizaron 35 individuos en los diferentes tratamientos (210 individuos en total) y para la cuantificación de la biomasa, se tomó una muestra al azar de tres individuos por tratamiento, teniendo un total de 18 individuos los cuales fueron desenterrados y lavados para retirar todo el sustrato, se tomaron las medidas total, aérea y subterránea de las plantas, mientras que para la biomasa se obtuvo el peso total, y se separó la parte aérea de la parte subterránea, la cual se pesó por separado para obtener el peso fresco. A continuación, se registraron las medidas y pesos totales y separados en una base de datos, posterior a obtener el porcentaje de colonización, biomasa aérea y subterránea se colocó en la estufa de secado a 60 °C por tres días y se registró peso seco. Finalmente, para obtener el porcentaje de pérdida de biomasa.

$$BSA+BSS=PTS$$

$$PTF-PTS = \% \text{ de pérdida de biomasa}$$

BSA: Biomasa Seca Aérea

BSS: Biomasa Seca Subterránea

PTF: Peso Total Fresco

PTS: Peso Total Seco

Evaluación de porcentaje de colonización

Para realizar la evaluación de colonización se tomó la parte subterránea (raíces) de las plantas usadas para crecimiento total y biomasa. Se utilizó el método de intersección de cuadrantes propuesto por (SEMARNAT, 2007), que consiste en realizar el conteo de las raíces colonizadas, cortando la raíz en segmentos y colocando estas en una caja de Petri, con cuadrícula de un centímetro cuadrado. Posteriormente, se realizó la observación en microscopio estereoscópico, examinando las raíces, evaluando las intersecciones en un sentido vertical y horizontal. Finalmente, se observó toda la longitud de la raíz y se cuantificó la presencia de estructuras micorrizicas, se contaron las raíces observadas, separando las colonizadas y no

colonizadas, realizando el conteo en cada centímetro cuadrado, siguiendo la metodología antes descrita. Con los datos obtenidos, se realizó el cálculo de la longitud radical colonizada para obtener el porcentaje de micorrización, de acuerdo con la siguiente fórmula (SEMARNAT, 2007):

$$\% \text{ de Micorrización: } \frac{\text{Longitud Colonizada}}{\text{Longitud Total}} * 100$$

Caracterización de morfotipos erocoides

Después de obtener el porcentaje de colonización, cada una de las cajas Petri con presencia de micorrizas fueron aisladas e individualizadas mismas que se fijaron en Navashin y etanol al 70% para su preservación y posterior caracterización. Se contabilizaron los ápices modificados por el hongo en cada raíz y fueron retirados de la plántula, para ser clasificados en morfotipos tomando como base la clasificación propuesta por Díaz Armendáriz (2018), Agerer (1987), con la clave DEEMY (Rambold & Agerer, 1997). Esta clasificación se hizo de acuerdo con características morfológicas y anatómicas para morfotipos ericoide, entre las que se encuentran dimensiones, tipo de ramificación, forma del ápice, textura o superficie del manto, tipos de red de Hartig y tipos de manto. Posteriormente se clasificaron y realizaron microfotografías empleando un microscopio estereoscópico de columna marca Leica M125, con el programa Leica application suite v4.

RESULTADOS

Supervivencia y Crecimiento

Los tratamientos mostraron que de los 210 individuos sólo sobrevivieron 114 individuos en los 6 tratamientos y los tratamientos que generaron mejores resultados después de 6 meses fueron los tratamientos T3 y T4, teniendo un total de 32 y 33 individuos vivos lo que representa 91 y 94 %, respectivamente. Mientras que el tratamiento de T6 presentó un total de 7 individuos vivos lo que representa el 20 % de supervivencia siendo este el tratamiento con menor número de individuos vivos (Fig. 2). Comparados con los tratamientos T1 y T2 que presentaron 26 y 16 individuos vivos lo que representa el 74 y 45 % de supervivencia. Observando que presentaron un menor porcentaje de supervivencia los tratamientos con MO.

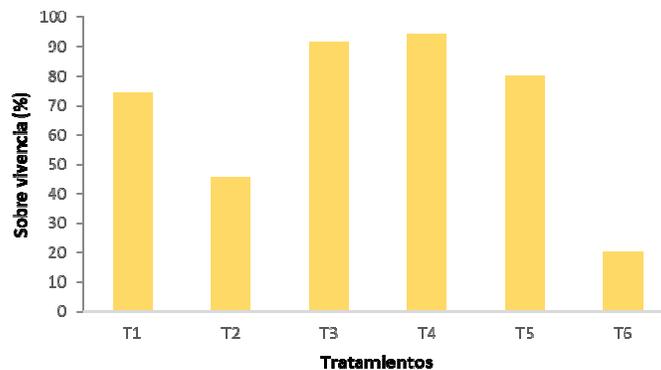


Fig. 2. Gráfica de supervivencia de *A. xalapensis* después de 6 meses de tratamientos.

Para crecimiento se encontraron diferencias significativas, ($F=7.27$; $p=0.000005$), teniendo que los tratamientos T4 y T5 presentaron los valores más altos, teniendo una altura promedio de 15.78 y 16.60 cm respectivamente con una tasa de crecimiento promedio de 2.63 y 2.76 cm al mes individualmente.

Siendo similares a los controles T1 y T2 que presentaron una altura promedio de 14 y 15 cm teniendo una tasa de crecimiento de 2.4 y 2.5 cm al mes respectivamente. Mientras tanto el tratamiento T3 mostro el crecimiento más bajo con 7.63 cm y una tasa de crecimiento de 1.27 cm al mes (Fig. 3).

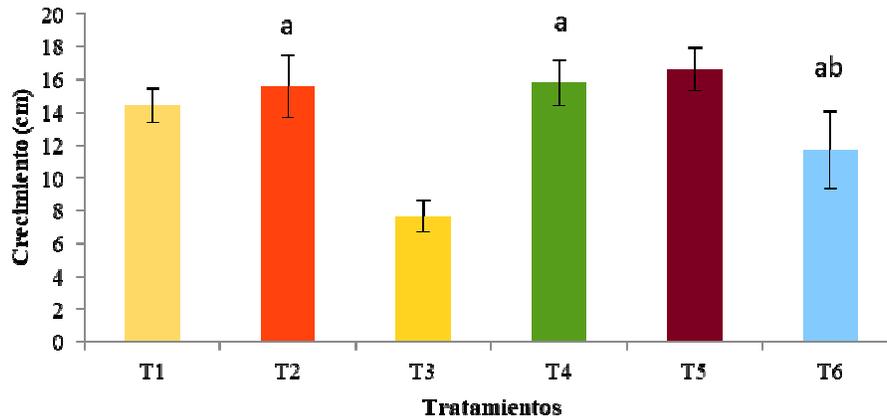


Fig. 3. Grafica de promedio de Crecimiento de *A. xalapensis* en los diferentes tratamientos.

Análisis para la muestra destructiva crecimiento Total

El análisis estadístico realizado a la muestra destructiva indica que no existe diferencia significativa entre los tratamientos. Encontrando que los valores más altos en cuanto a crecimiento total se presentaron en los tratamientos T4 y T5 teniendo un crecimiento promedio de 48 y 52 cm, respectivamente. Presentando una distribución de crecimiento, para la parte aérea de 26 y 27.7 cm, mientras que para la parte subterránea de 22.67 y 24.83 cm, respectivamente, teniendo una diferencia de crecimientos de 3.33 y 3.4 cm, siendo una diferencia baja, lo que indica que el crecimiento se distribuyó casi de manera equitativa (Fig. 4).

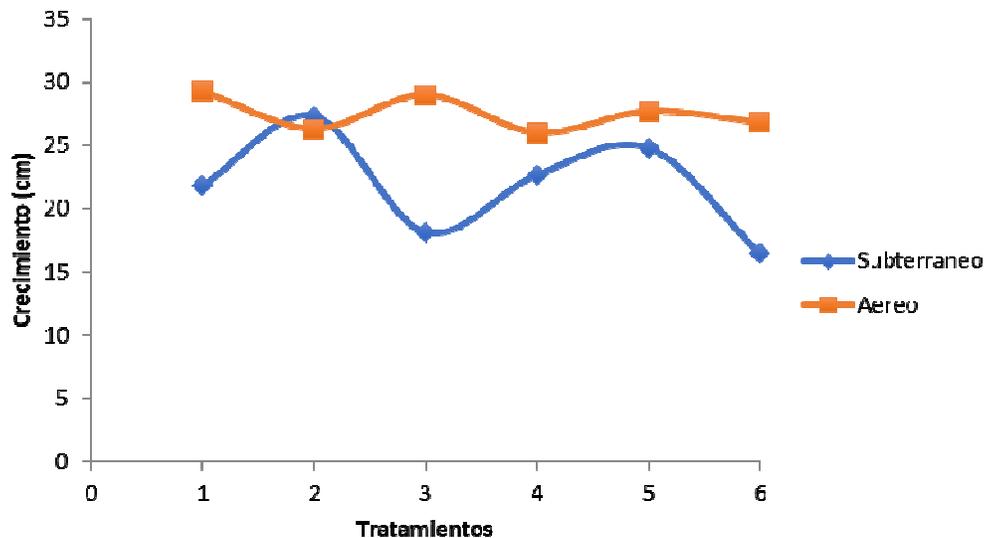


Fig. 4. Grafica de distribución de crecimiento aéreo y subterráneo.

Biomasa

En términos de biomasa total los tratamientos con los valores más altos fueron T3 y T6 teniendo un promedio de biomasa seca de 7.3 y 5.4 g individualmente. Presentaron así un porcentaje de pérdida de biomasa de 72 y 77.5% respectivamente, siendo estos los tratamientos que presentaron menor pérdida de biomasa, similarmente a los controles T1 y T2, que perdieron el 81% y 75%, no habiendo diferencias significativas (Tabla 3).

Tabla 3. Porcentaje de pérdida de biomasa en *Arbutus xalapensis* en los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Biomasa fresca	Biomasa seca	Pérdida de biomasa	% de pérdida
C	23	4.3	18.7	81.3
S+MO	22	5.4	16.6	75.5
T150+S+A	27	7.3	19.7	73.0
100+S+A	23	5.1	17.9	77.8
T150+S+MO	18	4.1	13.9	77.2
100+MO+S	24	5.4	18.6	77.5

Porcentaje de colonización y caracterización de morfotipos micorrízicos ericoides

Los resultados obtenidos para porcentaje de colonización muestran que no existen diferencias significativas, encontrando que los tratamientos con mayor porcentaje fueron T1 y T2 con 49.33 y 44.96% respectivamente (Tabla 4).

Finalmente, se identificaron 6 morfotipos (Fig. 5) de 6 tratamientos estos se describieron con base a Agerer (1987) y con la clave DEEMY (Rambold & Agerer, 1997) y corroborado con el trabajo de Díaz Armendáriz (2018) que estudio las micorrizas de *A. xalapensis* sobre suelos volcánicos. Además, se aplicó KOH al 10%, reactivo que reacciona con las paredes celulares del manto que genera el hongo en los ápices de las raíces para comprobar la presencia de la simbiosis (Fig. 6).

Tabla 4. Variable de respuesta de muestras destructivas en los diferentes tratamienitos.

Tratamiento	Crecimiento total (cm)	Biomasa fresca (g)	Biomasa seca (g)	No. TIPS
C	51.13 ± 3.16	23 ± 4.9	4.3 ± 0.9	214.50 ± 52.50
S+ MO	53.7 ± 5.86	22 ± 5.0	5.4 ± 1.7	272.66 ± 15.21
T150+S+A	47.2 ± 4.00	27 ± 7.0	7.3 ± 2.4	333.00 ± 118.97
100+S+A	48.7 ± 8.25	23 ± 5.7	5.1 ± 1.3	256.66 ± 111.83
T150+S+MO	52.5 ± 2.22	18 ± 1.1	4.1 ± 0.4	295.33 ± 55.18
100+MO+S	43.3 ± 6.00	24 ± 8.2	5.4 ± 1.8	358.00 ± 78.83

C=control, S+MO=Suelo+ Materia orgánica, T150+S+A=Terraplén 150 años+Suelo+Agrolita, 100+S+A= Jal 100 años+Suelo+Agrolita, T150+S+MO= Terraplén 150 años Materia Orgánica Suelo, 100+MO+S=Jal 100 años Materia Orgánica +Suelo.

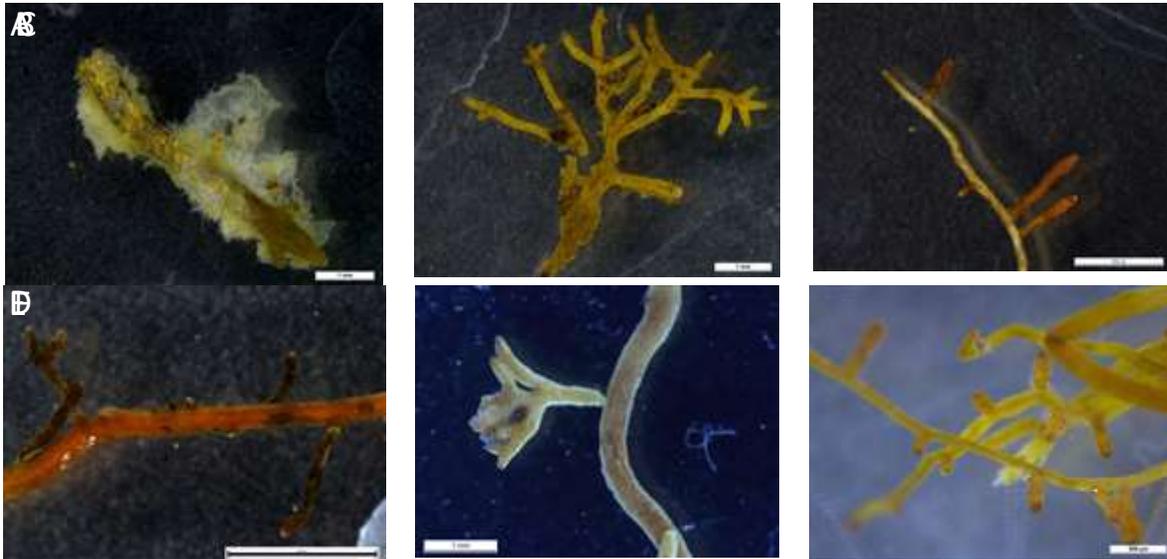


Fig. 5. Morfotipos micorrízicos ericoide caracterizados de acuerdo con Agerer (1987). **A)** Macrofotografía a 12 aumentos; Ramificación pinnada piramidal; con la forma de los ápices rectos; textura o superficie del manto Lanosa-fibrosa; lobulada; Tipo de manto plectenquimatoso con hifas dispuestas en forma de estrella y fuertemente pegadas. **B)** Macrofotografía a 12 aumentos; Tipo de ramificación Irregular pinnada; Forma del ápice ligeramente tortuosa; Textura o superficie del manto lisa; lobulada; tipo de manto H transicional entre hifas plectenquimatosas y pseudoparenquimáticas de forma irregular que forman una red gruesa. **C)** Macrofotografía a 12 aumentos con recorte y ajuste de escala (1 px= 0.2 mm); Tipo de ramificación simple; Forma del ápice recta ligeramente curvada; textura lisa; lobulada; Tipo de manto H transicional. **D)** Macrofotografía a 12 aumentos con recorte y ajuste de escala (1 px= 0.2 mm); Tipo de ramificación simple; Forma del ápice ligeramente curvado; Textura lisa-fibrosa; Tipo de manto H transicional. **E)** Macrofotografía a 12 aumentos; Tipo de ramificación dicotómica; forma del ápice curvada; textura algodonosa; Tipo de manto Pseudoparanquemitaso: mantos con células angulares portando una delicada red de hifas. **F)** Microfotografía a 25 aumentos (1 μ m= 0.001 mm); Tipo de ramificación simple: Forma del ápice recta; Textura lisa; Tipo de manto H transicional.

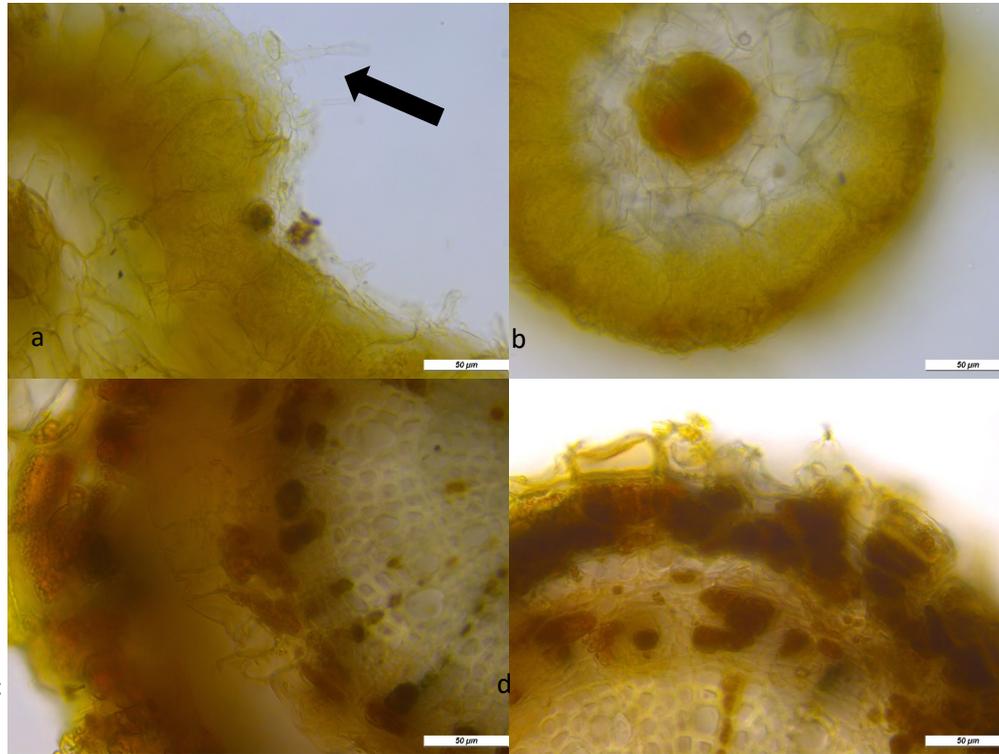


Fig. 6. Sección transversal de la raíz modificada de *A. xalapensis* que muestra una estructura similar a un manto (a), una hifa que penetra en la epidermis (flecha) y espirales de hifas (puntas de flecha) (b); c y d cambio de coloración de las hifas de los ápices modificados que crecieron en el tratamiento T5.

DISCUSIÓN

El estudio mostró que la fitorremediación es una alternativa viable para tratar suelos contaminados con metales, metaloides y compuestos orgánicos. Durante la última década, numerosos estudios han demostrado su potencial para remediar suelos. No obstante, para superar algunas de sus limitaciones es importante continuar realizando investigaciones. Con este trabajo se genera información sobre el efecto de residuos mineros sobre *A. xalapensis*, inoculado con micorrizas de tipo ericoide y se contribuyó con datos para poder emplear esta especie en procesos de fitorremediación.

Los resultados presentan variaciones en relación a la supervivencia, siendo los tratamientos con MO los que presentaron los resultados más bajos, así como cambios en la coloración de hojas (Fig. 7), lo que indica que la adición de materia orgánica a jales de temporalidad reciente (100 años) no es viable, ya que de acuerdo a Carrillo-González (2017), en algunos casos aumenta la disponibilidad de elementos potencialmente tóxicos, ampliando las posibilidades de ser absorbidos en mayor cantidad por la planta, además de acrecentar los niveles de pH en el suelo o sustrato, coincidiendo con Asati *et al.*, (2016) y Ríos Esparza (2019), quienes mencionan que la adición de enmiendas orgánicas aumenta la disponibilidad de Zn reportando un aumento de 500 mg/kg en los tratamientos con enmiendas, y a sus vez indican que la fitotoxicidad causada por Zn está caracterizada por la disminución del crecimiento y la aparición de un color rojo violáceo y marrón necrótica en las hojas inferiores de la planta siendo estas características encontradas en diferentes individuos como se muestra en la Fig. 7.



Fig. 7. Cambio de coloración en las hojas de *A. xalapensis*.

Se observó que la presencia de micorrizas de tipo ericoide favorecieron la supervivencia de los individuos colocados sobre tratamientos con residuos de mina que presentaban altas concentraciones de Zn, Fe, As y Mg, aumentando las posibilidades de crecimiento, a excepción del tratamiento T3 que tuvo un crecimiento bajo, pero con el mayor porcentaje de supervivencia, teniendo que la presencia de esta interacción es favorable para la supervivencia de las plantas sobre residuos mineros, esto con base en lo reportado por Márquez *et al.* (2005), la supervivencia de *Erica andevalensi* sobre residuos mineros, y que la presencia de la interacción simbiótica, genera que los metales se acumulen en las raíces, y en algunos casos como el Zn sean translocados hacia las hojas de las plantas, teniendo como similitud que *E. andevalensi* pertenece a la misma familia botánica que *A. xalapensis*.

Esto da lugar a estudios reportados por (Molina & Trappe, 1982), quienes mencionan que hongos formadores de Ectomicorrizas son capaces de formar también micorrizas ericoides, siendo así que los reportaron como hongos generalistas, por tal motivo se deduce que al estar presentes individuos del género *Pinus* cercanos a los sitios de muestreo estos tenían la presencia de hongos micorrízicos lo que aumento la presencia de más Morfotipos de los originales.

Así, Barbachano García (2020) reporta que *Ipomea tricolor* Cav. presento un bajo desarrollo de longitud en sus tratamientos con jales provenientes de Anganguo, mientras tanto el alto crecimiento y la supervivencia de algunos tratamientos por la presencia de las micorrizas, considerando lo que plantean González-Chávez (2017), quienes hacen un análisis del uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en la fitorremediación de sitios contaminados con EPT, en donde mencionan, que estos interactúan con la planta modificando las condiciones para que estas se puedan establecer, crecer e incrementar su tolerancia y productividad en estos sitios.

Las micorrizas de tipo ericoides asociadas a *A. xalapensis* permitieron soportar las limitaciones de materia orgánica y la alta presencia de EPT, brindando protección a la planta, esto coincide con lo reportado por Rangel *et al.*, (2014) quienes analizan el efecto de hongos micorrízicos arbusculares asociados a plantas leguminosas en la absorción de As, ellos reportan un retraso en la aparición de toxicidad por As, sin embargo este efecto fitoprotector varia en relación a la

planta y la especie de HMA. Por ende, podemos argumentar que la presencia de Hongos micorrízicos ericoides considerados generalistas favorecen la supervivencia ya que al realizar cortes transversales a morfotipos y ser observadas al microscopio se lograron encontrar estructuras circulares posiblemente en donde se almacenaron EPT, los que nos da una de que es favorable la presencia y uso de la especie y la inoculación para la formación de estas micorrizas y su aplicación en la fitorremediación de zonas mineras con características similares.

Finalizando, Gutiérrez Alas (2015) encontró que las ectomicorrizas asociadas a *Betula celtibérica* Rothm, que crecen de manera natural en un sitio contaminado con metales pesados, presenta una amplia diversidad fúngica lo que favoreció el desarrollo de la especie, encontrando a las micorrizas en *A. xalapensis* presentan las mismas modificaciones en las raíces, por lo cual se piensa que esto ayuda a la especie a sobrevivir en sitios contaminados con EPT.

CONCLUSIONES

La presencia de jales y terraplenes sin ningún tipo de manejo para su estabilización lleva un proceso muy lento de recuperación, siendo este a largo plazo, en este caso los sitios con temporalidades de 100 y 150 años que no presentaban ningún manejo presentaban muy poca y nula vegetación, por lo que se logró obtener una alta supervivencia de *A. xalapensis* en los tratamientos sin enmiendas orgánicas, mientras que los tratamientos con enmienda presentaron la menor supervivencia pudiéndose deber a que no se esterilizó el sustrato. Sin embargo, estos presentaron los crecimientos más altos, teniendo así que la adición de lombricomposta como enmienda orgánica a jales de 100 años con presencia de Zn, provoca una baja supervivencia, suponemos que con el cambio de pH se pudieran liberar en mayor cantidad los EPT, afectando en mayor proporción a la planta. Se encontró una gran diversidad de morfotipos de ericoides (Micorrizas), caracterizando un total de 6 morfotipos, siendo esto favorable para las plantas ya que la presencia de este tipo de asociaciones, ayudan a la supervivencia y crecimiento en sitios con presencia de EPT.

LITERATURA CITADA

- Aduvire, O. (2006). *Drenaje Ácido de Mina. Generación y Tratamiento*. España: Instituto Geológico y Minero de España Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente.
- Agerer, R. (1987). *Colour atlas of ectomycorrhizae*. Germany: Einhorn-Verlag Eduard Dietenberger, Schwabisch Gmund.
- Aramburu Maqua, M. P., Escribano Bombin, M. d., Escribano Bombin, R., López Rodríguez, A., Mataix González, C., Pastor Piñuela, M., & Turc Cuesta, I. (2009). *Especies Vegetales de Interés Para La Restauración Minera En La Comunidad de Madrid* (1 ed.). Madrid, España: Consejería de Economía y Hacienda. Comunidad de Madrid.
- Asati, A., Pichhode, M., & Nikhil, K. (2016). Effect of heavy metals on plants: An overview. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, 5(3), 56-66.
- Barbachano García, C. (2020). *Importancia del Potencial Micorrízico de Hongos Provenientes de Suelos de Jales Mineros y su Efecto en el Rendimiento Vegetal de Ipomoea tricolor Cav.* Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia: Tesis de Maestría.
- Barbosa Gay, D., & González, C. (2014). *Conceptos de Derecho Minero* (Vol. 7). Cordoba, Argentina: Serie de Materiales de Investigación.
- Carrillo-González, R. (2017). Fitorremediación asistida con enmiendas y fitoestabilización de elementos potencialmente tóxicos. *Agro Productividad*, 10(4), 6.
- Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612.

Recibido:
11/abril/2022

Aceptado:
12/enero/2023

- Díaz Armendáriz, A. (2018). *Caracterización de morfotipos ericoides asociados a Arbutus xalapensis Kunth, en suelos volcánicos del corredor biológico Chichinautzin*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- González-Chávez, M. A. (2017). Fitorremediación Asistida Por Microorganismos Con Énfasis En Hongos Arbusculares. *Agro Productividad*, 10(4), 28-33.
- Gutiérrez Alas, N. (2015). *Estudio de la diversidad micorrícica de Betula celtibérica Rothm y Vasc en zonas contaminadas por metales pesados*. Universidad de Oviedo. Oviedo: Tesis de Ingeniería.
- INEGI. (2016). *Anuario Estadístico y Geográfico de Michoacán de Ocampo*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Liu, A., Hamel, C., Hamilton, R. I., Ma, B. L., & Smith, D. L. (2000). Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. *Mycorrhiza*, 9(6), 331-336.
- Márquez, B., Hidalgo, P. J., Heras, M. A., Velasco, R., & Córdoba, F. (2005). Erica andevalensis: Un brezo endémico y en peligro de extinción de la zona minera de huelva. *Jornadas Técnicas de Ciencias Ambientales*, 1-19.
- Molina, R., & Trappe, J. M. (1982). Lack of micorrhizal specificity by the Ericaceous hosts *Arbutus menziessi* and *Arctostaphylos uva-ursi*. *New Phytologist*, 90(3), 495-509.
- Montes Rocha, J. A. (2016). *Efecto de los Metales Pesados en Suelo de Jales Mineros de San Luis Potosí*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí: REPOSITORIO NACIONAL CONACYT.
- Peterson, R. L., Massicote, H. B., & Melville, L. H. (2004). *Mycorrhizas: Anatomy and Cell Biology*. Ontario, Canada: NRC Research Press.
- Rambold, G., & Agerer, R. (1997). The concept of a characterization and determination system for ectomycorrhizae. *Mycorrhiza*, 7(2), 113-116.
- Rangel, W. M., Schneider, J., Costa, E. D., Soares, C. F., Guilherme, L. G., & Moreira, F. D. (2014). Phytoprotective Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Species Against Arsenic Toxicity in Tropical Leguminous Species. *International Journal of Phytoremediation*, 16(7-8), 840-858.
- Ríos Esparza, A. M. (2019). *Estabilización de jales mineros utilizando biocarbón y composta para promover el crecimiento de pastos e inmovilizar elementos potencialmente tóxicos*. Universidad Nacional Autónoma de México. Mexico: Tesis de Licenciatura.
- SEMARNAT. (2002). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001 protección ambiental – especies nativas de México de flora y fauna silvestres – categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – lista de especies en riesgo*. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAT. (2004). *Norma Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003, que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas*. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAT. (2007). *Caracterización de hongos ectomicorrícicos en un bosque de Pinus jeffreyi y su uso potencial como inóculo*. México: Comisión Nacional Forestal.
- SEMARNAT. (2011). *Que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Servicio Geológico Mexicano. (2018). *Panorama Minero del estado de Michoacán*. Guadalajara: Secretaria de Economía.
- Vital Vilchis, I. (2019). *Evaluación De Acciones Ornamentales De Helianthus spp Colonizadas Por Hongos Micorrízicos Arbusculares Para Remediar Suelos Contaminados Con Metales Pesados*. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. Zapopan, Jalisco: CIATEJ.