

Estudio del comportamiento de especies vegetales en un proceso de fitoestabilización para remediación de suelo contaminado por jal minero abandonado

DIANA NALLELI REYNA-NÁJERA¹, LEONOR CORTÉS-PALACIOS², GILBERTO SANDINO-AQUINO DE LOS RÍOS², MARTIN MARTÍNEZ-SALVADOR². LUIS MIGUEL RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ³.

RESUMEN

*El objetivo del estudio fue evaluar el potencial fitorremediador de ocho plantas nativas sembradas con apoyo de enmiendas, sobre el jal de la mina La Prieta en Hidalgo del Parral, Chihuahua, México, para fitoestabilizar los metales pesados y metaloide-As en sus raíces. La concentración de los elementos, en la parte aérea, raíz y suelo, se determinó siguiendo los criterios establecidos por la Norma NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Las especies *S. macrostachya* y *S. aireoides* mostraron las mayores concentraciones de cobre con valores entre 150 y 400 mg/kg, mientras que las demás especies oscilaron con valores entre 50 y 380 mg/kg. Las especies *S. aireoides*, *A. Canescens*, *S. Daysilirium* y *S. Macrostachia* presentaron potencial de fitorremediación al mostrar valores de Factor Traslocación <0.5 para As, Cu, Pb y Zn. Las especies antes mencionadas se adaptaron al experimento in situ, mostrando tolerancia a los metales pesados, metaloide y potencial de fitoestabilización.*

Palabras clave: Fitorremediación, enmienda, contaminación suelo.

Posgrado UACH-FZYE¹Ingeniero Geólogo, Maestría Ciencias, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chih. México, diana.reyna@live.com.mx

Facultad de Zootecnia y Ecología², Doctor Ciencias, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chih., México, lcortes@uach.mx, 0000-0003-1339-1680

Facultad de Zootecnia y Ecología² Doctor Ciencias, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chih., México, gaguino@uach.mx, 0000-0003-0613-7377

Facultad de Zootecnia y Ecología² Doctor Ciencias, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chih., México, msalvador@uach.mx, 0000-0002-2679-5070

Tecnológico Nacional de México³ Doctor en Ciencias, Instituto Tecnológico de Parral, Hidalgo del Parral, Chihuahua, México, lmrodriguez@itparral.edu.mx, 000-0003-4109-5686

Autor de correspondencia: Dra. Leonor Cortés Palacios, lcortes@uach.mx

Recibido: 22 / 10 / 2021

Aceptado: 10 / 05 / 2022

Publicado: 16 / 05 / 2022

Cómo citar este artículo:

Reyna Nájera, D. N., Cortés Palacio, L., Aquino de los Ríos, G. S., Martínez Salvador, M., & Rodríguez Vázquez, L. M. (2022). ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE ESPECIES VEGETALES EN UN PROCESO DE FITOESTABILIZACIÓN PARA REMEDIACIÓN DE SUELO CONTAMINADO POR JAL MINERO ABANDONADO. EPISTEMUS, 16(32). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.197>

Study of the Behavior of Plant Species in a Phytostabilization Process for Remediation of Soil Contaminated by Abandoned Mine Tailings

ABSTRACT

*The objective of the study was to evaluate the phytoremediation potential of eight native plants sown with the support of amendments, on the mine tailings from the La Prieta mine in Parral, Chihuahua, Mexico, to phytostabilize heavy metals and metalloid-As in their roots. The concentration of the elements, in the aerial part, root, and soil, was determined following the criterial established by the NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 standard. The species *S. macrostachya* and *S. aireoides* showed the highest copper concentrations with values between 150 and 400 mg/kg, whereas in the rest of the species ranged between 50 and 380 mg/kg. The species *S. aireoides*, *A. Canescens*, *S. Daysilirium*, and *S. Macrostachia* presented phytostabilization potential by showing Translocation Factor values <0.5 , for As, Cu, Pb, and Zn. The species were adapted to the in situ experiment, showing tolerance to heavy metals, metalloid, and potential for phytostabilization.*

Key words: *Phytoremediation, amendment, soil contamination.*

Introducción

La industria minera desempeña una contribución notable en el desarrollo económico de México [1], no obstante, derivado del proceso de explotación de metales preciosos, esta actividad genera residuos tóxicos conocidos como jales mineros que son vertidos en la presa de jales [2]. Este material contiene altas concentraciones de elementos principalmente como Pb, Zn, Cd, y Hg, que son considerados dañinos para el ambiente, ya que su concentración llega a exceder los límites permitidos para la actividad agrícola, industrial o urbano-rural [3], [4]. La industria de la minería, como actividad económica data de siglos atrás en nuestro país, sin embargo, es reglamentada en el año 2003, cuando se estableció la Ley General Para la Prevención y Gestión Integral para los Residuos [5], encargada de gestionar la prevención de contaminación en sitios con residuos peligrosos y regular su remediación para protección del ambiente [6], lo cual involucra procesos físico-químicos o biológicos que requieren inversiones costosas [7].

Los depósitos de jales que particularmente se encuentran en condiciones de abandono, por localizarse en minas antiguas cuyo cierre de operaciones fue antes de legislarse un manejo apropiado, son de interés ya que en México podrían encontrarse millones de toneladas de estos jales mineros disperso en diferentes depósitos a lo largo del territorio nacional, sin un tratamiento adecuado [8]. El suelo de estos jales mineros abandonados no cuenta con las condiciones físico-químicas necesarias para restituirse de manera autónoma, por lo que se encuentra degradado y expuesto a la propagación en el ambiente por medio de la erosión eólica e hídrica, con la amenaza de introducirse en la cadena trófica y causar efectos negativos a la salud y medio ambiente [3].

La fitorremediación es una tecnología basada en la capacidad de ciertas plantas para fitoacumular, fitovolatilizar o fitoestabilizar contaminantes como hidrocarburos, metales pesados y

metaloides (MPM), a través de tolerar y absorber los elementos por sus raíces, lo que brinda una alternativa sustentable para remover, inmovilizar o contener en buena proporción los contaminantes del suelo [9]. La fitoestabilización permite inmovilizar contaminantes en el suelo a través de la absorción y acumulación en las raíces de las plantas, reduciendo la movilidad de metales pesados y evitando su migración a las aguas subterráneas o al exterior [10]. La selección de especies vegetales para aplicar esta tecnología requiere de características para adaptarse a las condiciones físico-químicas del jal, además de mostrar un buen desempeño en la absorción de los contaminantes [11], [12], por lo que esta técnica puede requerir de la adición de enmiendas para favorecer su supervivencia [13].

Por medio de la cuantificación de los MPM se puede calcular el Factor de Traslocación (FT) que marca la relación que existe entre la concentración de los MPM en las raíces contra los transportados a la biomasa, donde aquellos especímenes con valores de FT menor a 1 tienen potencial para fitoestabilizar los elementos de manera estable en sus raíces evitando que lleguen a la cadena trófica del lugar [14].

En el centro de la ciudad de Hidalgo del Parral, Chihuahua, México, se encuentran abandonadas alrededor de 84 hectáreas de jales mineros sin tratamiento, producto de la operación de la mina La Prieta cuyo cierre fue en la década de 50's con indicios de contaminación por MPM [3], lo que dificulta que el ecosistema se regenere por el mismo, representando un foco de contaminación para el medio ambiente [15]. Se plantea emplear una tecnología de remediación para recuperar estos sitios abandonados, que, aunque su desarrollo data de unas décadas a la fecha, propone ser menos costosa y requerir menos supervisión [7]. En el presente trabajo, se diseñó e instaló un experimento de fitoremediación in situ para evaluar a un año y medio: 1) la sobrevivencia de

ocho especies vegetales nativas; 2) la evaluación del comportamiento de la absorción de los metales y metaloide (Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Plomo y Zinc) y 3) el efecto debido a la adición de seis tratamientos (sustratos), (Tabla 1).

Tabla 1. Composición de tratamientos utilizados en el experimento.

ID	% Composta	% Zeolita	% Jal
T1	10	6.6	83
T2	10	13.3	76
T3	20	6.6	73
T4	20	13.3	66
T5	100	0	0
T6	0	0	100

Materiales y Métodos

Localización y área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la ciudad de Hidalgo del Parral, Chih., México, a 225 kilómetros al sureste de la capital del estado entre los paralelos 26° 51' y 27° 23' de latitud norte y 105°23' y 105° 59' de longitud oeste del meridiano de Greenwich [3], en las instalaciones de la mina “La Prieta” cuya zona asignada comprende 312 m², incluyendo pasillos de acceso, (Figura 1).



Figura 1. Localización del área de estudio con la distribución de parcelas.

El clima en la región se identifica como un clima semi-seco o semiárido, cuyas lluvias se presentan durante el verano en un promedio de 72 días y una humedad relativa de 48%. La precipitación media anual calculada es de 456.7 mm, considerando los años 2019 y 2020, que abarcaron el periodo de aplicación del experimento, como dos años consecutivos con lluvias por debajo del promedio, con 260 mm para el 2020 [19]. La vegetación está constituida mayormente por pastizal y en menor proporción por matorral, bosque y mezquital [20].

Diseño Experimental

Se analizó la sobrevivencia de ocho especies vegetales: *Bouteloua gracilis*, *Sporobolus airoides*, *Bouteloua curtipendula*, *Setaria macrostachya*, *Digitaria californica*, *Leptochloa dubia*, *Atriplex canescens*, *Dasyllirion*, bajo las condiciones naturales de riego, en diseño experimental, que consistió en sembrar *in-situ* 192 parcelas de 1x1 m a una separación de 1 m destinado al pasillo de acceso, Figura 1. En cada parcela se sembró una de las ocho especies vegetales en adición

con uno de los seis tratamientos con cuatro repeticiones por diseño (ocho especies por seis tratamientos por cuatro repeticiones), distribuidas de manera aleatoria.

Muestreo de parte aérea, raíz y suelo.

El muestreo se realizó en diciembre de 2020, a un año y medio de su siembra, se recolectaron 131 especímenes de raíz y 117 muestras de la parte aérea de las plantas además de 137 muestras de suelo, de acuerdo a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2006. Las muestras fueron empaquetadas en bolsas de papel craft por separado o herméticas con cintillos para el caso del suelo y etiquetadas con los datos de identificación del número de parcela, especie y tratamiento correspondiente.

Posterior a su recolección se preservaron en el laboratorio de parámetros ambientales de la FZYE-UACH. Las muestras de parte aérea y raíz se colocaron en la estufa para secar por un periodo de 72 h. Una vez seca la muestra se extrajo una porción representativa de 0.5 g. El suelo se colocó en bandejas de plástico para secar a temperatura ambiente (25 °C) durante 96 horas, posteriormente se realizó un tamizado (malla de 2 mm de diámetro) para homogenizar y obtener 0.2 g de la muestra.

Análisis de metales pesados y metaloide en parte aérea, raíz y suelo.

El análisis se realizó con base en los criterios que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, para determinar las concentraciones de los elementos: As, Cd, Cr, Cu, Pb y Zn. El acondicionamiento de las muestras consistió en realizar una digestión ácida por microondas, en el equipo Anton Paar- Modelo Multiwave Go, mediante 14 ml de agua regia inversa y 5 ml de peróxido de hidrogeno. Una vez realizada la solución, se colocaron dentro del microondas 11 biseles por un periodo de 40 minutos a una presión de 20 atmosferas,

programando el aparato, de acuerdo al método EPA-3055 Organic A. Después del acondicionamiento, las muestras se enfriaron por un periodo de diez minutos dentro de la campana y se vertieron en un matraz volumétrico aforado a 50 ml con agua destilada. Posteriormente las muestras se preservaron en refrigeración para llevar a cabo la cuantificación de los MPM mediante la técnica de espectroscopia óptica de emisión con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES, PerkinElmer® - Optima™ 8300, Waltham, EE. UU.) [21].

La detección de los elementos tomó en cuenta los estándares de calibración para arsénico, cadmio, cobre, cromo, plomo y zinc.

Determinación del Factor de Translocación (FT) y Acumulación (FA).

Los resultados de las concentraciones de los MPM en la planta, raíz y suelo fueron empleados para determinar el FT, ecuación 1 y el FA, ecuación 2.

$$FT = \frac{\text{concentración mineral parte aérea}}{\text{concentración mineral en la raíz}} \quad (1)$$

$$FA = \frac{\text{Concentración mineral total en planta}}{\text{Concentración mineral en suelo}} \quad (2)$$

Análisis Estadístico

Se realizó un análisis estadístico descriptivo de los valores promedio y desviación estándar del FT, FA y concentración de elementos por tratamiento, mediante la hoja de cálculo de Microsoft Excel 2016.

Resultados y discusión

Supervivencia de especies vegetales por tratamiento

En la Tabla 2 se muestran los resultados del porcentaje de supervivencia, dónde se observa que las especies *A. canescens*, *S. macrostachya*, *S. airoides* y *Dasyilirion* fueron las que obtuvieron mejor adaptación con un porcentaje de supervivencia de 79, 75, 83 y 83 por ciento, correspondientemente. La especies con menor porcentaje de supervivencia fueron la *B. gracilis* que en general tuvo un porcentaje menor al 50 por ciento de supervivencia para todos los tratamientos excepto en el tratamiento 6 de solo jal y la *B. curtipendula*, presentando un 37 por ciento de supervivencia. El zacate *D. californica* y *L. dubia* se mantuvieron en un rango menor al 50% de supervivencia para la mayoría de los tratamientos a excepción del tratamiento 3, para el *D. califórnic*a que presento un 75% de supervivencia y *L. dubia* con el 75% de supervivencia en el tratamiento 6 de solo jal.

Tabla 2. Porcentaje de supervivencia de las especies vegetales en relación al tratamiento en las parcelas.

Trat	<i>Sporobolus airoides</i>	<i>Bouteloua curtipendula</i>	<i>Atriplex canescens</i>	<i>Leptochloa dubia</i>	<i>Bouteloua gracilis</i>	<i>Digitaria californica</i>	<i>Dasyilirion</i>	<i>Setaria macrostachya</i>
T1	100	75	100	50	25	50	75	100
T2	100	100	100	25	50	50	100	100
T3	50	0	100	50	0	75	100	100
T4	100	50	100	25	50	25	25	50
T5	75	0	75	25	0	50	100	25
T6	75	0	0	75	100	50	100	75
Prom	83	38	79	42	38	50	83	75

Las especies de *B. gracilis*, *Dasyilirion spp*, *S. airoides*, *L. dubia*, y *S. macrostachya* mostraron un porcentaje mayor al 75 por ciento de sobrevivencia en el tratamiento de solo jal, en acorde a lo mencionado por estudios previos que indican que algunas especies vegetales logran sobrevivir de manera natural en suelos metalíferos [22].

Factor de Traslocación (FT) y Acumulación (FA)

En la Figura 2, se muestran las medias del FT y FA para las especies vegetales con un porcentaje de sobrevivencia mayor al 50% por tratamiento, encontrando que la especie *A. canescens* traslocó Cu para el tratamiento 1 y 3, Pb para el tratamiento 3, 4 y 5, y Zn para los tratamientos 1, 3, 4 y 5, sin absorber As en ninguno de los tratamientos. La especie *S. airoides* traslocó solo el Zn para los tratamientos 1, 5 y 6, además de Pb para el tratamiento 5 de solo composta, esta misma especie se destaca por acumular Zn y Pb en el tratamiento 1, 2, 3 y solo acumulo Zn para el tratamiento 5. Según un estudio que evaluó el potencial fitorremediador de 11 especies en una mina de cobre en Brasil [14], [23], indica que a través del valor medio del $FT > 1$ y $FA > 1$ podría clasificarse al *S. airoides* con potencial de fitoacumulación de los metales de Pb y Zn. La especie *Dasyilirion* traslocó el Zn en los tratamientos 2, 3, y 5, el Pb en el tratamiento 5 y 6, y Cu en los tratamientos 2 y 3, manteniendo estables los cuatro elementos en sus raíces para el tratamiento 4, por lo que se puede clasificar según los criterios empleados en el estudio de la mina de cobre en Brasil [14], [23], como potencial especie fitoestabilizadora con apoyo de la enmienda del tratamiento 4 de mayor contenido de composta > zeolita y menor contenido de jal sobre los demás tratamientos al presentar valores de $FT < 1$. Por su parte se encontró que el *S. macrostachya* acumulo Zn en los 6 tratamientos y lo estabilizo en sus raíces en todos los tratamientos a excepción del T5 donde si traslocó el metal a la parte aérea de la planta.



Los valores de $FA > 1$ y $FT < 1$ para la especie *S. airoides*, que presento una sobrevivencia favorable en los 6 tratamientos, inclusive con el tratamiento de solo jal, lo que la coloca en una especie con potencial fitoestabilizador para los elementos de As, Cu, Pb y Zn, teniendo un buen desempeño de absorción o adsorción de los elementos en comparación con las concentraciones encontradas en el suelo de jal.



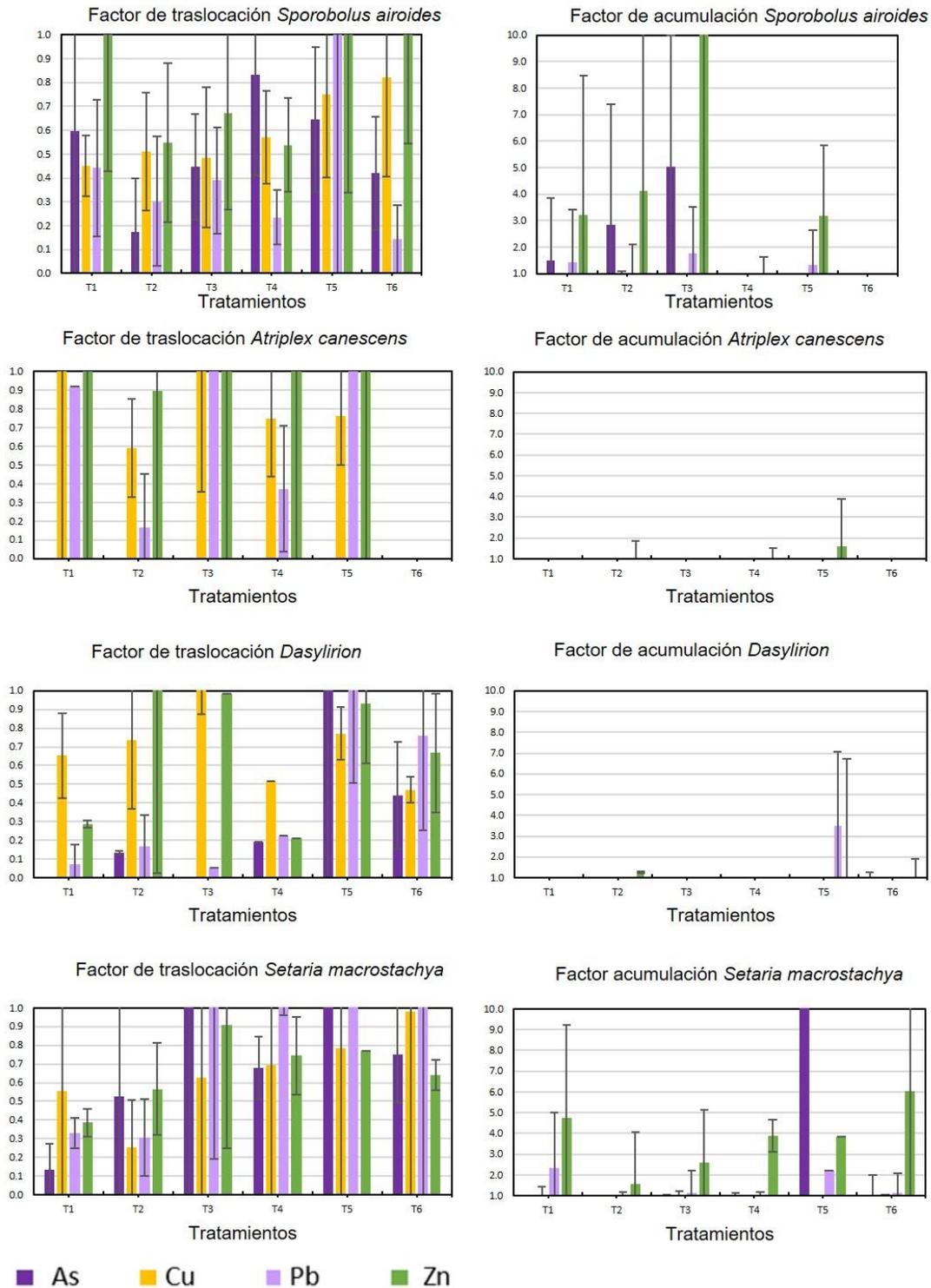


Figura 2. Factor de traslocación y acumulación para especies vegetales con sobrevivencia mayor al 50 por ciento por tratamiento

Conclusiones

Se encontró que la sobrevivencia aumentó en algunas especies como el *S. airoides* cuando la siembra fue en los tratamientos con mayor contenido de zeolita, de manera inversa los tratamientos 3 y 4 con mayor contenido de composta disminuyeron la sobrevivencia de la *S. macrostachya*, *Dasyilirion* y *B. curtipendula*.

Las especies *S. airoides*, *S. macrostachya*, *Dasyilirion* y *A. canescens* presentaron el mayor porcentaje de sobrevivencia, incluso en el tratamiento con solo jal, se aprecia también que no traslocan los elementos como el As, Cu, Pb y Zn, presentando un $FT < 1$ lo que las clasifica como especies potenciales para fitoestabilizar estos elementos en el suelo.

Referencias

- [1] Instituto Nacional de Ecología (INE), “Fuentes de contaminación en México,” 2007. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/372/fuentes.html#top>.
- [2] K. Islam, X. Vilaysouk, and S. Murakami, “Integrating remote sensing and life cycle assessment to quantify the environmental impacts of copper-silver-gold mining: A case study from Laos,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 154, no. August 2019, p. 104630, 2020, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104630.
- [3] L. Rodríguez *et al.*, “Jales mineros en Parral: identificación y cuantificación de elementos potencialmente tóxicos y elementos recuperables en los depósitos de la mina La Prieta,” *Cimav*, 2012.
- [4] R. Moran, “Is This Number to Your Liking? Water Quality Predictions in Mining Impact Studies,” in *Prediction: Science, Decision Making, and the Future of Nature*, Island Pre., D. Sarewitz, R. Pielke Jr, and R. Byerly Jr, Eds. DC Washington, EUA: Press, 2000, pp. 185–198.
- [5] Semarnat, *Guía Técnica para Orientar en la Elaboración de Estudios de Caracterización de Sitios Contaminados*, Primera. Tlalpan, D.F. México, 2010.
- [6] D. O. de la Federación., “Ley General para la Prevención y el Manejo Integral de los Residuos,” pp. 1–52, 2015, [Online]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/27266/Ley_General_de_Residuos.pdf.
- [7] J. Candia, “Manual de tecnologías de remediación de sitios contaminados,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 35–36, 2019.
- [8] Y. R. Ramos and C. D. Siebe, “Estrategia para identificar jales con potencial de riesgo ambiental en un distrito minero: Estudio de caso en el Distrito de Guanajuato, Mexico,” *Rev. Mex. Ciencias Geol.*, vol. 23, no. 1, pp. 54–74, 2006.
- [9] X. Gong *et al.*, “Remediation of contaminated soils by biotechnology with nanomaterials: bio-behavior, applications, and perspectives,” *Crit. Rev. Biotechnol.*, vol. 38, no. 3, pp. 455–468, Apr. 2018, doi: 10.1080/07388551.2017.1368446.
- [10] M. O. Mendez and R. M. Maier, “Review Phytostabilization of Mine Tailings in Arid and Semiarid Environments — An Emerging Remediation Technology,” no. 3, pp. 278–283, 2008, doi: 10.1289/ehp.10608.
- [11] W. Llatance, J. Emiliani, D. Bergara, L. Salvatierra, and L. Pérez, “Caracterización de los mecanismos de fitorremediación de *Salvinia* sp. frente a la exposición a metales pesados y su impacto sobre la fisiología vegetal,” *Energeia*, vol. 16, no. 16, pp. 37–45, 2019, [Online]. Available: <https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/9634/1/caracterizacion-mecanismos-fitorremediacion.pdf>.
- [12] J. Gil-Loaiza *et al.*, “Phytostabilization of mine tailings using compost-assisted direct planting: Translating greenhouse results to the field,” *Sci. Total Environ.*, vol. 565, pp. 451–461, 2016, doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.04.168.
- [13] J. Batista, S. Martínez, and M. Gabarrón, “EFECTO DE LA APLICACION DE ZEOLITA SOBRE LA FITOESTABILIZACION ASISTIDA EN UN DEPOSITO MINERO,” *Universidad Politéc. Cart.*, p. 56, 2019.
- [14] T. F. Afonso, C. F. Demarco, S. Pieniz, M. S. Quadro, F. A. O. Camargo, and R.



- Andreazza, "Bioprospection of indigenous flora grown in copper mining tailing area for phytoremediation of metals," *J. Environ. Manage.*, vol. 256, no. November 2019, 2020, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109953.
- [15] F. B. Salas Urviola, P. Guadarrama Guzmán, G. Fernández Villagómez, J. F. González Sánchez, and L. A. Barraza Torres, "Predicción De Drenaje Ácido De Mina, Jales De La Mina La Prieta, Chihuahua, México," *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 36, no. 4, pp. 825–834, 2020, doi: 10.20937/rica.53523.
- [16] F. Gonzalez *et al.*, "PROYECTO FITORREMEDIAACION DE JALES MINEROS ABANDONADOS DE ZONAS ARIDAS DE CHIHUAHUA: COMPARACION DE EXPERIMENTO DE INVERNADERO Y EXPERIMENTO DE CAMPO; UNA VISION GENERAL," 2019.
- [17] B. Luján *et al.*, "DISEÑO Y ESTABLECIMIENTO DE TÉCNICA DE FITOESTABILIZACIÓN DE SUELO CONTAMINADO POR JALES MINEROS, EXPERIMENTO EN INVERNADERO," 2019.
- [18] A. Cano *et al.*, "EMERGENCIA DE PASTOS NATIVOS EN UN SITIO CONTAMINADO CON JALES MINEROS ABANDONADOS CON ENMIENDAS DE SUSTRATO COMPUESTO," 2019.
- [19] Comision Nacion del Agua, *Reporte del Clima en México*. México, 2020.
- [20] J. Ramírez and M. Calva, "PLAN DE MUESTREO HIDALGO DEL PARRAL , CHIHUAHUA," 2019.
- [21] L. de T. I. LTI, "Espectroscopía de Plasma ICP-OES." 2020, [Online]. Available: <https://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/espectroscopa-de-plasma-icp-oes>.
- [22] A. Pollard, R. Reeves, and A. Baker, "Facultative hyperaccumulation of heavy metals and metalloids.," p. *Plant Sci.* 217–218, 8–17, doi: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.11.011>.
- [23] T. F. Afonso, C. F. Demarco, S. Pieniz, F. A. O. Camargo, M. S. Quadro, and R. Andreazza, "Potential of *Solanum viarum* Dunal in use for phytoremediation of heavy metals to mining areas, southern Brazil," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 26, no. 23, pp. 24132–24142, 2019, doi: 10.1007/s11356-019-05460-z.
- [24] J. Gil-Loaiza *et al.*, "Phytoremediation Reduces Dust Emissions from Metal(loid)-Contaminated Mine Tailings," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 52, no. 10, pp. 5851–5858, 2018, doi: 10.1021/acs.est.7b05730.

Cómo citar este artículo:

Reyna Nájera, D. N., Cortés Palacio, L., Aquino de los Ríos, G. S., Martínez Salvador, M., & Rodríguez Vázquez, L. M. (2022). ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE ESPECIES VEGETALES EN UN PROCESO DE FITOESTABILIZACIÓN PARA REMEDIACIÓN DE SUELO CONTAMINADO POR JAL MINERO ABANDONADO. *EPISTEMUS*, 16(32). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i32.197>