



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**



**LA BIODIVERSIDAD COMO INDICADOR DE ACCIONES POST
RESTAURACIÓN EN SITIOS CON HISTORIAL DE EXPLOTACIÓN MINERA**

Por:

I.A. César Antonio Salas Martínez

**Tesis presentada como requisito para obtener el grado de
Maestro en Ciencias Agropecuarias**

Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P

Mayo de 2026



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**



**LA BIODIVERSIDAD COMO INDICADOR DE ACCIONES POST
RESTAURACIÓN EN SITIOS CON HISTORIAL DE EXPLOTACIÓN MINERA**

Por:

I.A. César Antonio Salas Martínez

**Tesis presentada como requisito para obtener el grado de
Maestro en Ciencias Agropecuarias**

Director de Tesis: Dr. Jorge Alberto Flores Cano

Codirector de Tesis: Dr. Felipe Barragán Torres

Asesor: Dr. César Posadas Leal

Asesora Dra. Catarina Loredo Osti

El trabajo titulado **La Biodiversidad como Indicador de Acciones Post Restauración en Sitios con Historial de Explotación Minera** fue realizado por: César Antonio Salas Martínez como requisito para obtener el grado de "Maestro en Ciencias Agropecuarias", fue revisado y aprobado por el suscrito Comité de Tesis.

Dr. Jorge Alberto Flores Cano
Director

Dr. Felipe Barragán Torres
Codirector

Dr. César Posadas Leal
Asesor

Dra. Catarina Loredó Osti
Asesora

Ejido Palma de la Cruz, Municipio de Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. a los 09 días de mayo de 2026.



La biodiversidad como indicador de acciones post restauración en sitios con historial de explotación minera © 2026 by César Antonio Salas Martínez is licensed under [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

DEDICATORIA

A mi Familia, mi mamá Susana Martínez, mis hermanos Mayra Jazmín Salas Martínez, Dafne Monserrad Morales Martínez y Giovanni Morales Martínez, porque cada uno de ustedes que son de lo más importante en mi vida, agradezco poder contar con su apoyo y amor incondicional, por darme la fuerza, alentarme a cumplir mis metas y por compartir la alegría de mis triunfos personales.

A mi familia elegida, Israel de la Cruz, Nayely García y Cynthia Méndez por siempre considerarme parte de su familia, este logro es fruto de nuestra hermandad, donde cada momento juntos lo atesoro en el alma.

A mis amigos, Italia Ruvalcaba, Michel Almendarez, Daniel Cedillo, Aldair Alonso, Jazmín Moreno, Miriam Tejada, Andrea Flores, Michelle Martínez, Esaú Escobedo. Por acompañarme siempre y ser parte de este camino en mi vida. Por su amistad, cariño sincero y todo el apoyo que me han brindado.

A ti Fernando Agundis por ser mi cómplice en esta aventura, a tu confianza, tu lealtad, por creer en mí y el saber que puedo contar contigo. Te amo.

César Antonio Salas Martínez

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, por la oportunidad de continuar mi camino profesional.

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por el financiamiento para llevar a cabo este posgrado. Registro de CVU: 1321180.

Al Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT) por el apoyo y las facilidades brindadas en la realización de este trabajo de investigación.

A mi comité, el Dr. Jorge Alberto Flores Cano por la confianza, su esfuerzo, dedicación y apoyo incondicional en todos los procesos (análisis, redacción, documentación) que se involucraron para la realización de esta tesis.

Al Dr. Felipe Barragán Torres por todo su apoyo, su asesoría en los análisis y por todo el conocimiento compartido para mejorar la realización de este trabajo.

Al Dr. César Posadas Leal por su acompañamiento a campo, consejos y asesoría en la corrección de este trabajo de investigación.

A la Dra. Catarina Loredó Osti por su generosidad y motivarme a la realización de un estudio de posgrado.

A la Minera San Xavier por permitirnos acceder a sus instalaciones, a Toño, Manuel y Marisol, por su paciencia, apoyo y respaldo en la realización de este trabajo.

A mis compañeros, colegas y amigos de posgrado: Azucena, Sergio, Xochiketzalli, Vicente, Melissa, Victoria, Hugo, Andrés. Gracias por su acompañamiento, donde cada ida a campo era un reto nuevo para todos nosotros, este trabajo no pudo ser posible sin su valioso esfuerzo y dedicación, muchas gracias.

A los profesores Jesús Sandoval Martínez y Marco Antonio Dávila Lara por compartir su experiencia profesional, así mismo su apoyo en la colecta y redacción de los datos, gracias.

CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xi
SUMMARY.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	3
Hipótesis.....	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos.....	6
REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
Restauración Ecológica.....	7
Ecosistemas Áridos y Semiáridos	11
Sucesión Ecológica.....	13
Biodiversidad.....	13
Mastofauna.....	15
Mamíferos pequeños.....	15

Mamíferos medianos y grandes.....	15
MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
Descripción de la Zona de Estudio.....	17
Flora.....	19
Índices de vegetación.....	21
Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).....	21
Fauna.....	24
Mamíferos pequeños (roedores).....	24
Mamíferos medianos y grandes.....	26
Análisis de Datos.....	29
Índice de valor de importancia (IVI).....	29
Estimadores de diversidad q_0, q_1 y q_2	29
RESULTADOS.....	31
Flora.....	39
Fauna.....	44
Mamíferos pequeños.....	44
Mamíferos medianos y grandes.....	47
DISCUSIÓN.....	51
CONCLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES.....	55
LITERATURA CITADA.....	56
APENDICE	67
IVI.....	67
Registro Fotográfico.....	70
Sucesión Natural.....	72

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Terminología común en relación con las prácticas restaurativas.....	8
2	Lista de atributos que demuestran una trayectoria apropiada de desarrollo ecosistémico hacia la meta o la referencia deseada.....	10
3	Lista de especies utilizadas en la reforestación en el año 2020.....	23
4	Riqueza de especies vegetales por condición dentro del Patio de Lixiviación de minera San Xavier, Cerro de San Pedro, S.L.P.....	31
5	Riqueza de especies de mamíferos pequeños por condición dentro del Patio de Lixiviación de minera San Xavier, Cerro de San Pedro, S.L.P.....	33
6	Riqueza de especies de mamíferos medianos y grandes por condición dentro del Patio de Lixiviación de minera San Xavier, Cerro de San Pedro, S.L.P.....	34
7	Estimadores de diversidad para cada grupo y sitio dentro del Patio de Lixiviación de minera San Xavier, Cerro de San Pedro, S.L.P.....	36
8	Estimadores de diversidad para cada estrato de vegetación y condición dentro del Patio de Lixiviación de la minera San Xavier, Cerro de San Pedro, S.L.P.....	40
9	Estimadores de diversidad de roedores para cada estación (verano, otoño e invierno) y condición dentro del Patio de Lixiviación de minera San Xavier, Cerro de San Pedro, S.L.P....	45

10	Estimadores de diversidad para cada estación (primavera, verano y otoño) y condición dentro del Patio de Lixiviación de la minera San Xavier, Cerro de San Pedro, S.L.P.....	48
----	--	----

APENDICE

1	Índice de valor de importancia en el estrato herbáceo de la condición reforestada.....	67
2	Índice de valor de importancia en el estrato herbáceo de la condición de referencia.....	68
3	Índice de valor de importancia en el estrato arbustivo y arbóreo de la condición reforestada.....	68
4	Índice de valor de importancia en el estrato arbustivo y arbóreo de la condición de referencia.....	69
5	Lista de especies recolectadas fuera de las parcelas de muestreo, pero pertenecientes al sitio reforestado.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Área de estudio. Vista estatal y local de la zona de estudio donde se ubican las 2 condiciones. Ubicación de los sitios de estudio.....	18
2	Modelo digital de elevación. Vista del área de estudio donde se ubican las diferentes altitudes post cierre.....	18
3	Parcelas de muestreo de ambas condiciones dentro del área de estudio de acuerdo con cada sitio.....	19
4	Medición de vegetación en ambas condiciones.....	20
5	Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) a través de una secuencia de tiempo.....	22
6	Ubicación de trampas Sherman en ambas condiciones dentro del área de estudio, para cada sitio.....	25
7	Muestreo de roedores en temporada de otoño 2024.....	26
8	Estaciones de fototrampeo en ambas condiciones de restauración en el área de estudio.....	27
9	Muestreo de mamíferos medianos y grandes por fototrampeo...	28
10	Especies vegetales en categoría Amenazada y Sujetas a Protección Especial.....	33
11	Estimadores de diversidad para cada grupo y sitio dentro del Patio de Lixiviación de minera San Xavier, Cerro de San Pedro, S.L.P.....	37
12	Diagrama representativo del conjunto de especies que definen la composición entre las dos condiciones.....	38
13	Descripción grafica a través de un NMDS de la distribución entre condiciones para vegetación, mamíferos pequeños, medianos y grandes, con base en la abundancia de especies, medido a través del indicador de Bray-Curtis.....	38

14	Descripción grafica a través de un NMDS de la distribución entre condiciones para vegetación, mamíferos pequeños, medianos y grandes, con base a la riqueza de especies (presencia/ausencia), medido a través del indicador de Jaccard.....	39
15	Estimadores de diversidad para cada estrato de vegetación y condición dentro del Patio de Lixiviación de minera San Xavier, Cerro de San Pedro, S.L.P.....	41
16	Índice de valor de importancia (%) para las 7 especies más representativas por condición y estrato.....	43
17	Estimadores de diversidad de roedores para cada estación (verano, otoño e invierno) y condición dentro del Patio de Lixiviación de la minera San Xavier, Cerro de San Pedro, S.L.P..	46
18	Estimadores de diversidad de mamíferos medianos y grandes para cada estación (primavera, verano y otoño) y condición dentro del Patio de Lixiviación de minera San Xavier, Cerro de San Pedro, S.L.P.....	49

APENDICE

1	Mamíferos medianos y grandes captados por fototrampeo.....	70
2	Roedores capturados en la zona de estudio.....	71

RESUMEN

El presente estudio permitió evaluar la efectividad de las acciones de restauración ecológica implementadas en un sitio con antecedentes de explotación minera en San Luis Potosí, México, utilizando la diversidad de flora y fauna como bioindicadores del proceso de recuperación ambiental. La comparación entre condiciones y estaciones reveló hallazgos significativos que permiten valorar el grado de recuperación del ecosistema y su funcionalidad ecológica. El análisis reveló 47 especies vegetales, con mayor riqueza y equitatividad en la condición de referencia. Destacó la alta dominancia de *Salsola tragus* en la condición con obras de restauración, una especie invasora que representó el 80 % del valor ecológico del estrato herbáceo. En contraste, la condición de referencia mostró una composición más equilibrada, con especies como *Briza minor*, *Jatropha dioica* y *Bouteloua gracilis*. En cuanto a la fauna, se registraron 5 especies de mamíferos pequeños y 9 especies de mamíferos medianos y grandes. La condición de referencia presentó índices significativamente más altos de diversidad y equitatividad (q_0 , q_1 , q_2) en mamíferos pequeños, especialmente en primavera e invierno. Para mamíferos medianos y grandes no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre condiciones, aunque los valores más altos también correspondieron a la condición de referencia. Los cambios en la composición de especies entre condiciones, demostró que 29 especies fueron compartidas de las cuales 10 fueron mamíferos y 19 de vegetación; la comparación de diversidad beta fue realizada con datos de abundancia, con un 80, 29 y 74% para vegetación, mamíferos pequeños, medianos y grandes respectivamente. Este estudio sugiere que, si bien la condición restaurada ha logrado una recuperación vegetal parcial y puede albergar ciertas especies, se encuentra aún en etapas tempranas de sucesión ecológica. La dominancia de especies oportunistas o invasoras y la baja equitatividad ecológica indican la necesidad de un manejo adaptativo. La recolonización faunística, especialmente en roedores, mostró sensibilidad a la estructura de la vegetación y la disponibilidad de recursos, reafirmando su papel como bioindicadores de funcionalidad ecológica.

Palabras clave: Restauración ecológica, minera, bioindicadores, diversidad.

SUMMARY

This study evaluated the effectiveness of ecological restoration actions implemented at a site with a history of mining activity in San Luis Potosí, Mexico, using the diversity of flora and fauna as bioindicators of environmental recovery. The comparison between conditions and seasons revealed significant findings that allow for an assessment of the degree of ecosystem recovery and its ecological functionality. The analysis identified 47 plant species, with greater richness and equitability in the reference condition. A high dominance of *Salsola tragus* was observed in the restored condition, an invasive species that accounted for 80% of the ecological value in the herbaceous stratum. In contrast, the reference condition exhibited a more balanced composition, with species such as *Briza minor*, *Jatropha dioica*, and *Bouteloua gracilis*. Regarding fauna, 5 species of small mammals and 9 species of medium and large mammals were recorded. The reference condition presented significantly higher diversity and equitability indices (q_0 , q_1 , q_2) for small mammals, especially during spring and winter. For medium and large mammals, no statistically significant differences were found between conditions, although higher values were also observed in the reference site. Changes in species composition between conditions revealed that 29 species were shared, including 10 mammal species and 19 plant species. Beta diversity comparisons were performed using abundance data, yielding values of 80, 29, and 74% for vegetation, small mammals, and medium to large mammals, respectively. This study suggests that, although the restored condition has achieved partial vegetation recovery and can support certain species, it remains in the early stages of ecological succession. The dominance of opportunistic or invasive species and the low ecological equitability highlight the need for adaptive management. Faunal recolonization, especially among rodents, was sensitive to vegetation structure and resource availability, reaffirming their role as bioindicators of ecological functionality.

Keywords: Ecological restoration, mining, bioindicators, diversity