



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO**



**EVALUACIÓN DE LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN ECOSISTEMAS
SEMIÁRIDOS DEL CENTRO DE MÉXICO**

Por:

I.A.R.F. Melissa Rodríguez Medina

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

Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.

Noviembre 2022





**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO**



**EVALUACIÓN DE LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN ECOSISTEMAS
SEMIÁRIDOS DEL CENTRO DE MÉXICO**

Por:

I.A.R.F. Melissa Rodríguez Medina

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

Comité de Tesis:

Director: Dr. Jorge Alberto Flores Cano

Codirectora: Dra. Sandra Milena Gelviz Gelvez

Asesora: Dra. Catarina Loredó Osti

Asesora externa Dra. Nguyen Esmeralda López Lozano

DEDICATORIA

Al fin se llega el momento tan esperado de escribir la parte más bonita de este trabajo, el dedicar todo este esfuerzo no es fácil y mucho menos a una sola persona, ya que, sin la colaboración de todos, esto no podría ser posible, empecemos.

En primer lugar, a mi maravillosa familia que siempre ha estado presente en cada momento, dándome palabras de ánimo, con toda la paciencia del mundo y los abrazos, a mi mamá Ma. Fidela Medina, a mi papá Martín Rodríguez, mis hermanos Miguel y Gloria y a mi cuñada (hermana) Nayeli. A mi familia, tíos, primos y abuelitos.

A mis profesores (que a la vez son familia y amigos), por sus consejos, por dedicarme el tiempo no solo a mí, sino también a este trabajo y hacer sus valiosas observaciones, recomendaciones y asesoría: Dra. Sandra Milena Gelviz, Dr. Jorge Alberto Flores, Dra. Catarina Loreda, Dra. Nguyen Esmeralda López, Dra. María de la Luz Guerrero, Dr. Octavio Negrete, Dr. Felipe Barragán. A Candelaria Alonso Alvarado, por la paciencia y la orientación en cada trámite.

A mi profesor y compañeros (todos amigos) de Taekwondo ya que este siempre ha sido un salvavidas para mí: Marco Carrión, Dayana, Estefi, Chuy, Ángel, Cinthia, Franki, Caro, Mitzy, Ximena, Marianita, Trevi, Marco, Boo. Por muchos más entrenamientos duros y divertidos.

A todas y cada una de las personas que colaboraron con las interminables pero increíbles salidas a campo, en especial a mi amigo Vicente Arenas, a Victoria Gómez (viko), Glenda Iglesias, Laura, Axel, Miguel, Dani, Vanya, Lulú, Judit. A los ejidatarios que me prestaron su tiempo y compañía en las visitas a los ejidos (San Ignacio, Venadito y Jagüey) el señor Justino, Román, Tomás, por toda su hospitalidad.

A mis amigos por sus palabras de apoyo en la convivencia del día a día y claro esas bromas: Melissa Reyes, Jérica López, Victoria Gómez (otra vez, porque no), Vicente Arenas, Glenda Iglesias, Laura, Lulú de la Torre, Samuel Rodríguez, Ale Ibarra, Chintya Carranza, Abraham Juárez, Karen Hernández, Adriana Ángeles, Gerard Way (MCR, su voz inspira), TBBT (Bazinga). Por una larga amistad.

Finalmente, a las personas que de una u otra forma están presentes en mi vida, que he conocido en viajes y de las cuales he aprendido mucho, que dejaron una pequeña pero importante marca en mi vida. De verdad todo esto no sería posible sin cada uno de ustedes, con mucho cariño y esfuerzo esta tesis se las dedico a ustedes.

Melissa Rodríguez Medina.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la Facultad de Agronomía y Veterinaria, al Instituto de Investigación de Zonas Desérticas (IIZD) pertenecientes a la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT-1069960) que me apoyaron en la realización de este trabajo de investigación.

Al comité, la Dra. Sandra Milena Gelviz Gelvez por toda su gran paciencia en este recorrido, por los consejos y la orientación brindada para la realización de mi tesis. Por su amistad y la confianza otorgada.

Al Dr. Jorge A. Flores Cano por todo su apoyo incondicional no solo durante este trabajo de investigación, sino a lo largo de mi formación profesional, por todo el conocimiento brindado, por su amistad y siempre motivarnos a ser mejor y lograr mis metas.

A la Dra. Catarina Loredó Osti, por su asesoría y corrección de este trabajo de investigación, además de todo el apoyo brindado.

A la Dra. Nguyen Esmeralda López Lozano por su aportación a este trabajo de investigación, observaciones y consejos para mejorar y enriquecer este trabajo.

A todos y cada una de las personas que me apoyaron con una de las partes importantes en este trabajo, la identificación de especies tanto de escarabajos como de vegetación, al Dr. Felipe Barragán Torres (IPICYT), Dr. Alfredo Ramírez Hernández (IPICYT), Dr. Fernando Escobar Hernández y M. C. Guillermo Martínez de la Vega (memo).

A los compañeros que trabajaron en el muestreo de campo, Victoria, Vicente, Marco, Chava, Carlos, Laura, Glenda, Axcel, Joaquín, Daniela, Miguel, Vania, Dani, Judith y Lulu.

A todos los catedráticos que nos compartieron su conocimiento en cada una de las materias y/o dudas durante la maestría, además de la colaboración y palabras de ánimo de M. C. Miguel y M. C. Guillermo Martínez de la Vega (memo).

A nuestros compañeros y amigos que nos acompañaron durante los 2 años de la maestría y esperando sigan presentes en mi vida, Victoria, Anita, Quetzal, Juan, Chema y Fabi. A las honguitas, Viko, Melissa y Jessica, que desde inicios de la carrera forjamos una amistad inigualable, por esos momentos compartidos que quedarán siempre en nuestros recuerdos.

A todos los amigos y compañeros del IIZD, Lulú, Cinthia, Ale y Samuel, que nos acompañaron en el Aula "C" a lo largo de estos meses, por los consejos, por asesorarnos, por las pláticas y anécdotas compartidas durante las pausas del des estrés.

CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
RESUMEN.....	xi
INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
MATERIALES Y MÉTODOS	12
Selección de Área de Estudio	12
Descripción del Área de Estudio	12
Metodología.....	14
Caracterización de las Propiedades Físicas y Químicas de Suelo	14
Muestreo de Vegetación	16
Colecta y Procesamiento de Especímenes de Mesofauna	17
RESULTADOS.....	22
Comparación de los Parámetros Físicas y Químicas del Suelo por Condición.....	22
Comparaciones Entre Condiciones y Años de Reforestación de las Propiedades Físicas y Químicas del Suelo.....	24
Compleitud de Muestras y Composición de Especies Vegetales.....	27
Diversidad Alfa de la Vegetación	28
Diversidad Beta de la Vegetación	31
Estructura Horizontal y Vertical de la Vegetación.....	32
Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) Entre los Valores Físicos y Químicos del Suelo y las Abundancias de las Especies Vegetales.....	37
Compleitud de Muestras y Composición de Especies de Escarabajos (Coleópteros).38	
Diversidad Alfa del Orden Coleóptero.....	39
Diversidad Beta de Coleópteros	42
Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) Entre los Valores Físicos y Químicos del Suelo y las Abundancias de las Especies de Coleópteros	43
DISCUSIÓN	45
Propiedades Físicas y Químicas del Suelo	45
Diversidad (Alfa y Beta), Estructura y Composición de Especies de Vegetación	48

Diversidad (Alfa y Beta), Composición y Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) de Escarabajos	50
CONCLUSIIONES	53
ANEXOS	55
LITERATURA CITADA.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Climograma del municipio Villa Hidalgo, la línea amarilla muestra la temperatura y en azul la precipitación.....	13
2	Arreglo de parcelas para el muestreo de suelo. En tonos verdes se encuentran las parcelas con condición reforestada por año, en tonos rojos condición de referencia y en azul condición conservada. A la derecha se muestra la parcela de 10 x 10 m donde se ubicaron 5 puntos para formar una muestra compuesta para cada una de las parcelas.....	15
3	Arreglo de parcelas para el muestreo de vegetación. En tonos verdes se encuentran las parcelas con condición reforestada por año, en tonos rojos condición de referencia y en azul condición conservada. A la derecha se muestra la parcela de 10 x 10 m donde ese evaluó el estrato arbóreo y dentro se encuentran 2 subparcelas de 5x5 m donde se evaluó el estrato arbustivo y suculentas.....	17
4	Arreglo de trampas de caída (color azul) y trampas con cebo (color negro) en un cuadrante de 200 x 250 m, con separación de 50 m entre cada trampa.	18
	Promedios y error estándar de las propiedades químicas del suelo evaluados. En negro la condición conservada, en blanco condición reforestada y en gris la condición de referencia. Las letras distintas representan diferencias estadísticamente significativas entre las condiciones. Se presenta el valor de p.....	23
6	Promedios y error estándar de la densidad aparente del suelo. En negro la condición conservada, en blanco condición reforestada y en gris la condición de referencia. Las letras distintas representan diferencias estadísticamente significativas entre las condiciones. Se presenta el valor de p.....	24
7	Promedio y error estándar de las propiedades químicas del suelo entre condiciones y años de reforestación. En negro la condición conservada, en blanco la condición reforestada y en gris la condición de referencia. Las letras distintas representan diferencias entre las condiciones. Se presenta el valor de p.....	26
8	Promedio y error estándar de la densidad aparente del suelo entre condiciones y años de reforestación. En negro la condición conservada, en blanco la condición reforestada y en gris la condición de referencia. Las letras distintas representan diferencias entre las condiciones. Se presenta el valor de p.....	27

9	Curvas de rango abundancia de especies vegetales por condición para especies de árboles y arbustos en distintos años de reforestación. Los acrónimos corresponden a las 3 primeras letras del género y la especie. En color gris se representa la condición de referencia, en blanco la condición reforestada y en negro la conservada.....	28
10	Rarefacción extrapolación para el orden de diversidad q0 de la vegetación (riqueza de especies efectivas) para cada una de las condiciones por año. En negro se encuentra la conservada, en rojo condición de referencia por años (11, 6 y 4 años respectivamente) y en blanco la condición de reforestación (11, 6 y 4 años respectivamente).....	29
11	Rarefacción extrapolación para el orden de diversidad q1 de la vegetación (exponencial del índice de diversidad de Shannon Wiener) para cada una de las condiciones por año. En negro se encuentra la condición conservada, en rojo la condición de referencia por años (11, 6 y 4 años respectivamente) y en blanco la condición de reforestación (11, 6 y 4 años respectivamente).....	30
12	Rarefacción extrapolación para el orden de diversidad q2 de la vegetación (Inverso del índice de similitud de Simpson) para cada una de las condiciones por año. En negro se encuentra la conservada, en rojo la condición de referencia por años (11, 6 y 4 años respectivamente) y en blanco la condición de reforestación (11, 6 y 4 años respectivamente)	31
13	Diversidad beta de la vegetación por condiciones. En color negro se representa el recambio y en blanco la anidación.....	32
14	Estructura vertical del estrato arbóreo y arbustivo de la vegetación (altura en metros). En color negro se representa la condición conservada, en colores (rojo 11 años, azul 6 años y verde 4 años) sólidos la condición de referencia y con textura a rallas (rojo 11 años, azul 6 años y verde 4 años) condición reforestada.....	33
15	Estructura vertical de suculentas (altura en metros). En color negro se representa la condición conservada, en colores (rojo 11 años, azul 6 años y verde 4 años) sólidos la condición de referencia y con textura a rallas (rojo 11 años, azul 6 años y verde 4 años) condición reforestada	34
16	Estructura horizontal de los estratos arbóreos y arbustivos de la vegetación (cobertura en metros cuadrados). En color negro se representa la condición conservada, en colores (rojo 11 años, azul 6 años y verde 4 años) sólidos la condición de referencia y con textura a rallas (rojo 11 años, azul 6 años y verde 4 años) condición reforestada	35
17	Estructura horizontal de suculentas (cobertura en metros cuadrados). En color negro se representa la condición conservada, en colores (rojo 11 años, azul 6 años y verde 4 años) sólidos la condición de referencia y con textura a rallas (rojo 11 años, azul 6 años y verde 4 años) condición reforestada.....	36

18	Estructura horizontal del estrato arbóreo de la vegetación (DAP en cm). En color negro se representa la condición conservada, en colores (rojo 11 años, azul 6 años y verde 4 años) sólidos la condición de referencia y con textura a rallas (rojo 11 años, azul 6 años y verde 4 años) condición reforestada.....	37
19	Análisis de correspondencia canónica entre las propiedades físicas y químicas del suelo y las abundancias de especies vegetales. Los puntos color negro representan las condiciones, en azul las especies y los vectores color verde las propiedades del suelo. El acrónimo corresponde a las 3 primeras letras del género y la especie.....	38
20	Curvas de rango abundancia del orden coleóptero por condición para especies de escarabajos en sitios con distintos años de reforestación. Los acrónimos corresponden a las 3 primeras letras del género y la especie. En color gris se representa la condición de referencia, en blanco la condición reforestada y en negro la conservada.....	39
21	Rarefacción extrapolación para el orden de diversidad q0 de coleópteros (riqueza de especies efectivas) para cada una de las condiciones por año. En color negro se encuentra la condición conservada, en rojo la condición de referencia por años (11, 6 y 4 años respectivamente) y en blanco la condición de reforestación (11, 6 y 4 años respectivamente).....	40
22	Rarefacción extrapolación para el orden de diversidad q1 de coleópteros (exponencial del índice de Shannon) para cada una de las condiciones por año. En color negro se encuentra la condición conservada, en rojo la condición de referencia por años (11, 6 y 4 años respectivamente) y en blanco la condición de reforestación (11, 6 y 4 años respectivamente).....	41
23	Rarefacción extrapolación para el orden de diversidad q2 de coleópteros (Inverso del índice de Simpson) para cada una de las condiciones por año. En color negro se encuentra la condición conservada, en rojo la condición de referencia por años (11, 6 y 4 años respectivamente) y en blanco la condición de reforestación (11, 6 y 4 años respectivamente).....	42
24	Diversidad beta de las condiciones para las especies de coleópteros. En color negro se representa el recambio y en blanco la anidación.....	43
25	Análisis de correspondencia canónica entre las propiedades físicas y químicas del suelo y las abundancias de especies escarabajos. Los puntos color negro representan las condiciones, en azul las especies y los vectores color verde las propiedades del suelo. Los acrónimos se representan las 3 primeras letras del género y la especie.....	44

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Promedio y error estándar de las propiedades físicas y químicas del suelo por condición.....	22
2	Promedio y error estándar de las propiedades físicas y químicas del suelo por condición por año.....	25

RESUMEN

Los ambientes áridos y semiáridos presentan características particulares como baja disponibilidad de humedad y altas temperaturas. En este tipo de ambientes las actividades antrópicas intensivas aunado a las características producen procesos de degradación que requieren periodos de tiempo extensos para recuperar estructura y funcionamiento de los ecosistemas. Como estrategia para acelerar la recuperación, se han implementado acciones como la rehabilitación, la reforestación, el saneamiento, el reemplazo o la restauración ecológica. En este sentido diferentes dependencias de México han implementado estrategias para recuperar los ecosistemas y revertir los procesos de degradación, sin embargo, estas acciones carecen de una evaluación exhaustiva que determine la efectividad, permitiendo la mejoría y/o la generación de nuevas estrategias. Algunos componentes del ecosistema tienden a reaccionar de forma rápida por lo que resultan ser excelentes indicadores de procesos ecosistémicos. En este estudio se evaluó el efecto de las acciones de reforestación en las propiedades químicas del suelo (concentraciones de nutrientes y materia orgánica), y propiedades físicas del suelo (densidad aparente), mesofauna edáfica y vegetación en condiciones de implementación de acciones para favorecer la recuperación y se comparó la condición conservada y condición de referencia (sin implementación de acciones). La condición reforestada corresponde a tres periodos de tiempo (11, 6 y 4 años desde el inicio de implementación de acciones de reforestación). Para las propiedades físicas y químicas del suelo no se registraron diferencias estadísticamente significativas entre condiciones ni entre periodos de tiempo. Se registró un aumento en la riqueza y la estructura de especies de vegetales conforme pasa el tiempo de reforestación, siendo más altos en condición reforestada de 11 años. La mesofauna, la diversidad de especies más alta se encontró en condición de 6 años de reforestación. Las acciones de reforestación y conservación de suelo tienen un efecto parcialmente positivo en el ecosistema semiárido de matorral micrófilo, donde a pesar de que las acciones se consideran aún recientes, la vegetación se ha visto favorecida aumentando la diversidad. La mesofauna presenta mayor diversidad en las condiciones con mayor cobertura.

Palabras clave: Degradación, reforestación, vegetación, escarabajos, suelo.

SUMMARY

Arid and semi-arid environments present particular characteristics such as low humidity availability and high temperatures. In this type of environment, intensive anthropic activities together with the characteristics produce degradation processes that require long periods of time to recover the structure and functioning of the ecosystems. As a strategy to accelerate recovery, actions such as rehabilitation, reforestation, sanitation, replacement, or ecological restoration have been implemented. In this sense, different agencies in Mexico have implemented strategies to recover ecosystems and reverse degradation processes, however, these actions lack an exhaustive evaluation to determine effectiveness, allowing improvement and/or the generation of new strategies. Some components of the ecosystem tend to react quickly, which is why they are excellent indicators of ecosystem processes. This study evaluated the effect of reforestation actions on the chemical properties of the soil (concentrations of nutrients and organic matter), and physical properties of the soil (apparent density), edaphic mesofauna, and vegetation under conditions of implementation of actions to favor the recovery and the conserved condition and reference condition (without implementation of actions) were compared. The reforested condition corresponds to three periods of time (11, 6 and 4 years from the beginning of the implementation of reforestation actions). For the physical and chemical properties of the soil, no statistically significant differences were recorded between conditions or between periods of time. An increase in the richness and structure of plant species was recorded as the reforestation time passes, being higher in the reforested condition of 11 years. The mesofauna, the highest species diversity, was found in a condition of 6 years of reforestation. The reforestation and soil conservation actions have a partially positive effect on the microphyllous scrub semi-arid ecosystem, where despite the fact that the actions are still considered recent, the vegetation has been favored by increasing diversity. The mesofauna presents greater diversity in the conditions with greater coverage.

Keywords: Degradation, reforestation, vegetation, beetles, soil.