

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**COMPOSICIÓN FLORÍSTICA Y DIVERSIDAD DE UN ÁREA RESTAURADA
POST-MINERÍA EN EL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO**

POR

ING. JONATHAN JESÚS MARROQUÍN CASTILLO

**Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

**COMPOSICIÓN FLORÍSTICA Y DIVERSIDAD DE UN ÁREA RESTAURADA
POST-MINERÍA EN EL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO**

TESIS

Para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTADA POR:

ING. JONATHAN JESÚS MARROQUÍN CASTILLO


COMITÉ DE TESIS:



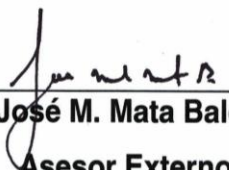
Dr. Eduardo Alanís Rodríguez
Director



Dr. Javier Jiménez Pérez
Asesor



Dr. Oscar A. Aguirre Calderón
Asesor



Dr. José M. Mata Balderas
Asesor Externo

Linares, Nuevo León, México

MAYO DE 2015

Maestro - en latín, Magister - significa que es más, más sabio, más elevado y bueno. No se trata, como cree la mayoría, de un grado o un título concedido.

Dr. Adoum

Ser Maestro: es ser mejor, intelectual y espiritualmente. Es poseer la cualidad de conquistar por propio esfuerzo la suprema autoridad, que barrió la Ignorancia, el Egoísmo y el Miedo, los cuales mantienen al hombre en un estado de inferioridad y esclavitud.

Marroquín, C. J., 2015.

Manifiesto que la presente investigación es original y fue desarrollada para obtener el grado de Maestro en Ciencias Forestales, donde se utiliza información de otros autores se otorgan los créditos correspondientes.

Ing. Jonathan J. Marroquín Castillo

AGRADECIMIENTOS

Al concluir esta etapa, dos años y el pestañeo fue más lento que estos, se finaliza con una gran cantidad de vivencias, emociones, nuevas experiencias y un poco más inteligente.

Expresar mi más profundo agradecimiento a las personas e instituciones, que de manera directa o indirecta colaboraron en el desarrollo de esta investigación la cual concluye en esta tesis. Fueron muchos y muchas los que aportaron al desarrollo de esta, y si llego a omitir a alguno, favor de disculpar a este humilde servidor.

De manera inicial, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca de maestría otorgada, la cual sin ella esto difícilmente hubiera podido llevarse a cabo. Espero haber estado al nivel que esta demanda.

A mi alma mater, la Universidad Autónoma de Nuevo León, por el cobijo brindado, y en especial a la Facultad de Ciencias Forestales, por la oportunidad para llevar a cabo mis estudios de maestría, y anterior a esto de licenciatura. Extendiendo mi más sincero agradecimiento a sus profesores, por compartir su sabiduría y estar siempre atentos a ayudar y aconsejar de manera precisa y puntual.

De igual manera mi agradecimiento a todo el personal que en ella labora, desde las amables secretarías, siempre dispuestas a ayudar, así como a todo el personal que hacen de esta la mejor facultad de la U. “Te hacen sentir como en casa” (Dice la mayoría de los compañeros).

A mi comité de tesis e integrantes de los escritos que de aquí salieron, agradezco toda la disposición, motivación y entusiasmo que pusieron para llevar esta investigación.

Especialmente al Dr. Eduardo Alanís Rodríguez, por su confianza, paciencia, tiempo y amistad. Por sus asesorías para la mejora de esta investigación, así como sus acertados consejos técnicos, laborales y personales.

Al Dr. Javier Jiménez Pérez y Dr. Oscar A. Aguirre Calderón, por su participación en la elaboración de la investigación, su amistad y por ser parte de mi formación académica/profesional.

A mi asesor externo Dr. José Manuel Mata Balderas, por su entera disposición para trabajar en esta investigación, por todas las facilidades brindadas, por su cooperación, el tiempo, los consejos y su amistad.

Al Dr. Enrique Jurado, Dr. Marco Gonzáles y Dr. Humberto González, por sus consejos, apoyo y amistad, muchas gracias.

Al M.C. Ernesto Rubio, por su entera disposición en formar parte importante de esta investigación, gracias por los consejos brindados y por la entera entrega en la realización de esta investigación.

Al Dr. Alejandro Collantes Chavez-Costa, de la Universidad de Quintana Roo, por su valiosa aportación a esta investigación, además de siempre estar al pendiente de todo lo que esta conlleva.

Al Dr. Alejandro Valdecantos Dema, del Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM), quien me abrió las puertas para la estancia académica/científica, la cual por razones personales no pude estar con ellos, más de todas maneras, gracias.

Al técnico, Guadalupe Pérez, por su entera disposición en apoyar en labores de levantamiento de datos.

De manera especial se agradece a la empresa Gestión Estratégica y Manejo Ambiental S.C. (GEMA S.C.) por su apoyo incondicional y valiosa participación, la cual sin esta, la investigación no hubiera podido ser posible. Así como a todo su equipo de trabajo, los cuales de manera desinteresada ayudaron de una manera sorprendente en el levantamiento de datos.

A la empresa Mitramar S.A., planta Cerralvo N.L., mi agradecimiento por todas las facilidades brindadas para la ejecución de la misma.

A mis compañeros posgrado, Edy, Diana, Marco, Sylvette, Flavio, Brianda, Fer, Nelly, "Tocayo", Perla, Israel, "los Martines" (Chiuas y Durango), "Los durangos", Juan Carlos, Ruben's, Cecy, Sita, Gabo, Chuy, Gera y los que me falte por mencionar, muchas gracias a todos por su compañerismo y amistad.

Por ultimo a todos aquellos que de manera indirecta y directa me motivaron a la culminación de este proyecto ¡Mil gracias!

-¡Que viva la familia...!- -¡Pero bien lejos!- Grito aquel viejito del pueblo.

A mis Padres, Don Felipe Marroquín y Doña Evelia Castillo (Con cariño), por ser piedra angular en mi desarrollo personal, quienes me han ido empujando y apoyando siempre en todo, no tengo más que dar toda mi gratitud y amor a ellos. ¡Gracias padres! Así como a mi hermana Giovana Marroquín, por su apoyo incondicional y la confianza que siempre ha tenido en mí. ¡Gracias!

De igual manera a la Familia Cardona Mendoza, mi familia política, por todo el apoyo brindado, gracias.

Y a quienes le dieron un giro de 360 grados a mi vida, a quienes siempre me reciben con algo nuevo, quienes se adelantan, me cambian planes, modifican todo, sí, a mi esposa amada Celeste Cardona Mendoza y a la luz de mis ojos, mi hija Azul Monserrat Marroquín Cardona, por ser esa parte que me complementa, quienes desde inicios de esta etapa académica fueron luz y motor de mi vida, quienes me brindan su amor incondicional, sus besos, sus abrazos, a ellas todo de mí. Gracias infinitas a mi esposa Celeste, por haber hecho de esta humilde persona un esposo y un padre. A ellas dedico este trabajo.

Azul Celeste

Contenido

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
ESTRUCTURA DE LA TESIS	v
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
CAPITULO I	1
1. Introducción General	1
1.2 Justificación del estudio	5
1.3 Objetivos	6
1.3.1 Objetivo General	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.4 Hipótesis	7
Capítulo III. Composición florística y diversidad de la regeneración natural.	7
Capítulo IV. Composición florística y diversidad de un área restaurada post minería en el MET	7
1.5 Literatura	7
CAPITULO II	11
2. Materiales y Métodos	11
2.1 Área de estudio	11
2.2 Diseño experimental	14
CAPITULO III	16
3. Composición florística y diversidad de la regeneración natural, post- minería a cielo abierto en el MET	16
3.1 Resumen.....	16
3.2 Introducción	17
3.3 Objetivo	21
3.4 Hipótesis	21
3.5 Análisis de la vegetación.....	21
3.6 Análisis de la información	22
3.7 Resultados y discusión	25

3.8 Conclusiones.....	31
3.9 Literatura citada	32
CAPITULO IV.....	44
4. Composición florística y diversidad de un área restaurada post-minería en el Matorral Espinoso Tamaulipeco.	44
4.1 Resumen.....	44
4.2 Introducción	46
4.3 Objetivo	47
4.4 Hipótesis	47
4.5 Diseño experimental	47
4.6 Análisis de la vegetación.....	50
4.7 Análisis estadísticos.....	53
4.8 Resultados y discusión	53
4.8.1 Riqueza y diversidad de especies.....	54
4.8.2 Distribución vertical	55
4.8.3 Indicadores ecológicos.....	56
4.9 Conclusiones.....	59
4.10 Literatura citada	60
CAPITULO V.....	74
5. Consideraciones finales	74
5.1 Recomendaciones	78
5.2 Literatura citada	80
6. Acerca de Autor.....	81

RESUMEN

Las estrategias de restauración tienen como objetivo favorecer la recuperación de los ecosistemas alterados, para lograr el restablecimiento de su estructura y funcionamiento naturales. La presente investigación evaluó la abundancia, dominancia, frecuencia y diversidad de especies, de áreas de matorral espinoso tamaulipeco sometidas durante 7 años (2006-2013) a procesos de aprovechamiento a cielo abierto de material calizo, y restauradas bajo tres tratamientos: 1) deposición material rocoso y edáfico, y 2) sin intervención. El éxito de las intervenciones de restauración se evaluó mediante la comparación de la estructura de la comunidad vegetal de los sitios tratados, respecto a los de una comunidad de referencia de matorral espinoso tamaulipeco maduro. Se establecieron 12 sitios de muestreo de 100 m² (10 x 10 m) en cada uno de éstos tratamientos, así como en la comunidad de referencia en lo que se registraron los atributos ecológicos de las comunidades vegetales establecidas. En el área sin restaurar no se registró regeneración de la comunidad vegetal. La variable riqueza específica (S), índice de Margalef (DMG) e índice de Shannon (H') mostraron diferencias significativas (Valores medios S 4.75 y 8.25, DMG 0.87 y 1.80, H' 0.7 y 1.54, respectivamente), entre el área restaurada y el área referencia las variables de densidad, área de copa e índice de Pretzsch (A) fueron similares. Se concluyen que la técnica de restauración activa, consiste en el depósito de material rocoso y edáfico en el área, su exclusión de actividades productivas generan condiciones favorables para que la comunidad vegetal del matorral espinoso tamaulipeco se establezca teniendo similitud en la densidad y área de copa a un área de referencia en siete años.

ABSTRACT

Restoration strategies promote the recovery of disturbed ecosystems in order to renew their natural structure and function. Our research evaluated the abundance, dominance, frequency, and diversity of species in three areas of tamaulipan thornscrub, two of which were subject to opencast limestone mining over the course of seven years from 2006 to 2013. Restoration techniques were applied in one of the excavated areas but not the other. The third, undisturbed area was used as the control subject. We recorded ecological attributes of established plant communities in 36 preselected 100 m² (10m x 10m) sampling sites, 12 in each one of the locations. The area that did not go through the restoration process demonstrated no regeneration in vegetation. The variable of species richness (S), Margalef index (D_{MG}) and Shannon index (H) showed significant differences (mean values S 4.75 and 8.25, D_{MG} 0.87 and 1.80, H 0.7 and 1.54, respectively) between the restored and control area while the variables of density, crown area, and Pretzsch index (A) were similar. Based on the similarity in the density and crown area, we conclude that active restoration techniques, involving deposition of rock and soil materials and exclusion of industrial activities, generate favorable conditions for the reestablishment of vegetation communities in tamaulipan thornscrub.

ESTRUCTURA DE LA TESIS

El presente documento está compuesto de la manera siguiente. Los capítulos I y II, justifican la realización de esta investigación, planteando los objetivos e hipótesis de trabajo. Los siguientes capítulos III y IV, constituyen el cuerpo de la tesis, dando respuesta a los cuestionamientos planteados en esta investigación. Y el capítulo V, da las conclusiones finales emanadas de esta investigación, además de recomendaciones propias para las áreas de restauración en mineras a cielo abierto.

Capítulo I. Introducción general. Este capítulo describe la justificación, hipótesis y objetivos de la tesis.

Capítulo II. Materiales y Métodos. El segundo capítulo describe el área de estudio, así como el diseño de muestreo utilizado.

A continuación se describen los capítulos del tres al cinco, que constituyen el cuerpo de la tesis.

Capítulo III. Composición florística y diversidad de la regeneración natural, post-minería a cielo abierto en el MET. Con el objetivo de conocer la diversidad de especies, esta parte de la investigación tiene la finalidad de evaluar un área sujeta a la restauración activa en el matorral espinoso tamaulipeco, la técnica de restauración consistió en depositar material rocoso y edáfico en el área y excluirla de cualquier actividad productiva. Con la información recabada se determinaron a nivel especie los indicadores ecológicos de: abundancia (A_r), dominancia (D_r), frecuencia (F_r) e Índice de valor de importancia (IVI), y a nivel comunidad los índice de Margalef (D_{Mg}) e Índice de Shannon & Weiner (H).

Capítulo IV. Composición florística y diversidad de un área restaurada post-minería en el MET. Este capítulo tiene como objetivo evaluar dos áreas sometidas a diferentes procesos de restauración y un área testigo. Las variables registradas fueron: riqueza específica (S), índice de Margalef (D_{Mg}), índice de Shannon (H') e índice de Pretzsch (A). Además de los indicadores ecológicos de: abundancia (A_r), dominancia (D_r), frecuencia (F_r) e Índice de valor de importancia (IVI).

Capítulo V. Consideraciones finales. Conclusiones de la presente investigación.

*Los análisis estadísticos y gráficos presentados en este trabajo fueron realizados mediante el software de licencia libre **R** en sus versiones **v2.15** y **v3.0.1** y las rutinas generadas fueron creadas bajo el software **R-Studio v0.97**.*

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Nombre científico, nombre común, familia y forma de crecimiento de las especies presentes en el área de estudio	40
2	Abundancia (N/ha), dominancia (m ² /ha), frecuencia e Índice de Valor de Importancia de las familias registradas en el área de estudio (ordenadas según su valor de importancia).	42
3	Densidad, cobertura, frecuencia e Índice de Valor de Importancia (IVI) de las especies presentes en una comunidad del Matorral Espinoso Tamaulipeco.	43
4	Índice de riqueza y diversidad de especies, en el área estudiada.	29
5	Familia, nombre científico y forma de crecimiento. Abundancia absoluta (Número por hectárea), Dominancia (metros cuadrados por hectárea), Frecuencia absoluta (Repeticiones por sitio de muestreo) e Índice de valor de importancia (IVI, porcentaje) para los 3 sitios evaluados en el MET.	69
6	Distribución vertical (Prestzch) de las especies en las áreas (Referencia y Restaurada) de estudio.	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Ubicación del área de estudio, en Cerralvo, Nuevo León.	12
2	Ubicación de la RTP, AICA y RHP, dentro del área de estudio.	13
3	Sitios evaluados: I) Área de estudio, sometida a procesos de fragmentación de roca; II) Sitio testigo (ZT); III) Sitio restaurado siete años (SR); IV) Área de Referencia (AR), caracterizada por la presencia de vegetación natural.	14
4	Ubicación de los sitios de muestreo, seleccionados aleatoriamente.	15
5	Curva de dominancia-diversidad basada en IVI y rango de especies.	28
6	Áreas evaluadas: 1) Área de estudio, sometida a procesos de fragmentación de roca; 2) Área restaurada siete años (RES); 3) Área No Restaurada (NRES); 4) Área de Referencia (REF), caracterizada por la presencia de vegetación natural.	49
7	Índice de valor de importancia de las especies en las áreas (Referencia y Restaurada) de estudio.	72
8	(Izquierda) Riqueza de especies, (centro) Índice de Margalef, (derecha) e Índice de Shannon de las áreas (Referencia, Restaurada y No Restaurada) de estudio.	72
9	<i>Brickellia veronicifolia</i> (Kunth) Gray	79

CAPITULO I



Vista panorámica del área de estudio
Cantera de roca caliza, zona de voladora 1
Foto: Jonathan Marroquín, 2013

1. Introducción General

Las zonas mineras representan alrededor del 1% de la superficie terrestre del mundo (Šálek, 2012). A nivel mundial el sector minero y de metales tuvo un aumento superior al 13%, en los últimos dos años (Lira, *et al.*, 2013). En el año 2012, el 22% del conjunto mundial de minas a cielo abierto se encontraba en América Latina y el Caribe. Más del 85% de las grandes explotaciones actuales y planificadas de minería de la región son a cielo abierto (David *et al.*, 2013).

En México la minería es una industria floreciente. Su incidencia en la economía mexicana comenzó a tener importancia en la década de los noventa, siendo en la actualidad los principales productos el oro y plata. La minería a cielo abierto, en

industrias pedreras en la actualidad representa para el país el 7% para los productos de grava y arenas (Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2009).

Los primeros antecedentes de exploración en el estado de Nuevo León (noreste de México) se remontan a los inicios del siglo XVII, cuando fueron descubiertas las minas de plomo - zinc de Cerralvo. Actualmente las actividades de exploración se limitan a productos no metálicos, destacando las empresas productoras de yeso, barita, caliza, fosforita, dolomita, sales de sodio, sílice, cemento, carbonato de calcio y arcillas (Panorama Minero del estado de Nuevo León, 2011).

En el año 2010, la Secretaría de Economía entregó 1,911 títulos de concesiones en México, abarcando una superficie de 40,144.37 km². (Lopez, *et al.*, 2011). Los beneficios económicos de la extracción mineral son elevados; sin embargo, existe la paradoja entre el crecimiento económico contra los problemas ambientales que acarrea dicho crecimiento; no obstante pocas veces se han demostrado cuantitativamente las aseveraciones de daños al ambiente (López, *et al.*, 2010; Virah-Sawmy *et al.*, 2014).

La minería a cielo abierto consiste en retirar la vegetación, el suelo y, cuando es necesario, la voladura de la roca madre para obtener acceso al recurso deseado. Las explotaciones mineras a cielo abierto se desarrollan, con frecuencia, en espacios naturales cuyo valor paisajístico y ecológico se ven mermados por la severamente alteración que reciben (Jorba, M. y Vallejo, R., 2006). Cuando se concluye con las actividades de aprovechamiento a cielo abierto surge la necesidad de mitigar los daños ocasionados por la misma y emprender acciones

de restauración para revertir sus efectos (Batty, 2005; Boyer *et al.*, 2010; Zhao *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2013; Biswas *et al.*, 2013; Mata *et al.*, 2014).

La restauración ecológica es el proceso basado en promover el restablecimiento de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (SER, 2004). La restauración ecológica tiene como finalidad generar las condiciones ambientales y bióticas para que se recupere el sistema natural afectado y sea autosustentable.

Los proyectos de restauración deben tener metas claras y objetivos cuantificables con referencia a un ecosistema de referencia. Un ecosistema de referencia sirve de modelo para la planificación de un proyecto de restauración ecológica y posteriormente, servir en la evaluación de ese proyecto (SERI, 2004; Keenelyside *et al.*, 2012). Una vez que se cuenta con objetivos claros y un ecosistema de referencia, es importante conocer o evaluar la resiliencia del ecosistema (Doak *et al.*, 1998; Cuevas, 2010; Keenelyside *et al.*, 2012).

Bajo ciertas circunstancias, la suspensión de actividades humanas es suficiente para que un ecosistema pueda recuperar las condiciones básicas para la restauración en forma autónoma (restauración pasiva), especialmente si la extensión del daño es pequeña, o si existen áreas aledañas que cuenten con germoplasma nativo local o bien no existe una secuela de contaminación residual de larga duración en suelos, agua y aire (Hough-Snee *et al.*, 2013; Mata *et al.*, 2014; Zahawi *et al.*, 2014). En esos casos, varias especies pioneras pueden reiniciar la secuencia de colonización y restablecimiento de la vida silvestre local de manera continua y, en consecuencia, la recuperación de las propiedades de

orden superior del ecosistema (resistencia, resiliencia, entre otras.) (Mata *et al*, 2014). En el caso de las canteras, la recuperación se dificulta por la ausencia de sustrato, y de semillas y propágulos, y esto resulta especialmente difícil si se desarrolla en clima semiárido, donde alternan periodos secos con periodos de lluvias torrenciales (Jorba, M. y Vallejo, R., 2008; Van Andel *et al.*, 2012).

Si bien, existe literatura que evalúa la regeneración de las comunidades vegetales del matorral espinoso tamaulipeco después de actividades silvícolas (Martínez *et al.*, 2014) y agropecuarias (Jiménez *et al.*, 2012; Pequeño *et al.*, 2012; Alanís *et al.*, 2013; Jiménez *et al.*, 2013), se tiene poca información en relación a la regeneración de este ecosistema semiárido afectado por el aprovechamiento de materiales. La presente investigación tiene la finalidad de evaluar la composición y diversidad de las especies vegetales en un sitio post-minería luego de la realización de acciones de restauración activa en el matorral espinoso tamaulipeco, la cual fue sometida a procesos de aprovechamiento a cielo abierto para la obtención de caliza, materia prima en los procesos de construcción. La técnica de restauración consistió en depositar material rocoso y edáfico en el área y excluirla de cualquier actividad productiva.

1.2 Justificación del estudio

La presente investigación tiene la finalidad de evaluar los tratamientos utilizados para restaurar una mina a cielo abierto, mediante la composición y diversidad vegetal de una pedrera ubicada en las cercanías de la sierra de picachos, en Cerralvo, Nuevo León. Esta zona se vio deteriorada por factores antropogénicos en los últimos años, específicamente por el desarrollo industrial y el aprovechamiento minero a cielo abierto. Desde una perspectiva socioeconómica, estas pedreras representan un importante centro de abastecimiento del recurso natural, ya que abastecen las necesidades de materia prima para las cementeras más importantes del Noreste de México.

No obstante la contaminación ambiental y la degradación del recurso natural han llevado a cabo iniciativas para recuperar los espacios naturales que han sido afectados por el aprovechamiento y desarrollo de las canteras; De esta manera, surgió la iniciativa para crear la Ley que Regula el Aprovechamiento de Recursos Minerales y Sustancias no Reservados a la Federación del Estado de Nuevo León, en su capítulo sexto, de la regeneración ambiental, el artículo 25 y 26; establece que las pedreras deberán proceder a restablecer las condiciones naturales del sitio, en lo referido a reposición del suelo y vegetación. Aun y cuando son iniciativas, al final estas serán necesarias para llevar a cabo proyectos como la presente investigación, la cual generará una línea base para futuros proyectos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

El objetivo de la presente investigación es evaluar la composición y diversidad de especies, en un área sometida durante 7 años (2006-2013) a procesos de aprovechamiento a cielo abierto de material calizo, y restauradas bajo tres distintos tratamientos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Evaluar la resiliencia mediante la composición y estructura de especies en un sitio regenerado naturalmente. Excluido de actividad antropogénica.
- b) Evaluar la composición y estructura de especies en un área referencia; compararlo con el área natural y un área testigo.

1.4 Hipótesis

Las hipótesis se plantean de manera general y dependiendo del objetivo su estructura es en base a los capítulos de la tesis.

Capítulo III. Composición florística y diversidad de la regeneración natural.

La restauración pasiva (resiliencia) no es recomendable en áreas post-minería en ecosistemas áridos, ya que las condiciones edáficas y ambientales no favorecen la regeneración natural.

Capítulo IV. Composición florística y diversidad de un área restaurada post minería en el MET

Se espera encontrar diferencias en la composición y diversidad de especies, respecto de un área referencia a un área con restauración pasiva.

1.5 Literatura

Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2009. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). 100 pp.

Alanís, E., J. Jiménez, A. González, I. Yerana, L. G. Cuellar y A. Mora. 2013. Análisis de la vegetación secundaria del matorral espinoso tamaulipeco, México. *Phyton International Journal of Experimental Botany*, 82: 185-191.

Batty, L. C. 2005. The potential importance of mine sites for biodiversity. *Mine water and the Environment*, 24(2): 101-103.

Biswas, C. K., P. Mishra y A. Mukherjee. 2013. Floral diversity in sites deranged by opencast mining in Sonapur Bazari of Raniganj coalfield area, West Bengal. *Indian J. Applied & Pure Bio.* Vol, 28(2): 265-273.

- Boyer, S. y D. Wratten. 2010. The potential of earthworms to restore ecosystem services after opencast mining—A review. *Basic and Applied Ecology*, 11(3): 196-203.
- Cuevas, P. 2010. Importancia de la resiliencia biológica como posible indicador del estado de conservación de los ecosistemas: implicaciones en los planes de manejo y conservación de la biodiversidad. *Biológicas*, 12: 1-7.
- David, H., J. Rosales y P. Ouboter. 2013. Gestión del impacto de la explotación minera a cielo abierto sobre el agua dulce en América Latina. Banco Interamericano de Desarrollo Unidad de Salvaguardias Ambientales Nota técnica # IDB-TN-520. 40 pp.
- Doak, D. F., D. Bigger, E. K. Harding, M. A. Marvier, R. E. O'Malley y D. Thomson. 1998. The statistical inevitability of stability-diversity relationships in community ecology. *American naturalist*. Volumen 151, Issue 3: 264-276.
- Hough-Snee, N., B. B. Roper, J. M. Wheaton, P. Budy y R. L. Lokteff. 2013. Riparian vegetation communities change rapidly following passive restoration at a northern Utah stream. *Ecological Engineering*, 58: 371-377.
- Jiménez, J., E. Alanís, J. L. Ruiz, M. A. González, J. I. Yerena y G. Alanís. 2012. Diversidad de la regeneración leñosa del matorral espinoso tamaulipeco con historial agrícola en el NE de México. *Ciencia UANL*, 15(2): 66-71.
- Jiménez, J., E. Alanís, M. A. González, O. A. Aguirre y E. J. Treviño. 2013. Characterizing woody species regeneration in areas with different land history tenure in the tamaulipan thornscrub, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 58(3):299–304.
- Jorba, M. y R. Vallejo. 2006. La restauración ecológica en minería: El proyecto EcoQuarry. *Canteras*, 891: 16-23.
- Jorba, M. y R. Vallejo. 2008. La restauración ecológica de canteras: un caso con aplicación de enmiendas orgánicas y riesgos. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 17(3): 119-132.

- Keenleyside, K., N. Dudley, S. Cairns, C. Hall y S. Stolton. 2012. Ecological restoration for protected areas: principles, guidelines and best practices. IUCN. Vol. 18.
- Li, J., Y. Zheng, J. Yan, H. Li, X. Wang, J. He y G. Ding. 2013. Effects of Different Regeneration Scenarios and Fertilizer Treatments on Soil Microbial Ecology in Reclaimed Opencast Mining Areas on the Loess Plateau, China. PloS one, 8(5), e63275.
- Lira, C., C. Payan, I. Restrepo y L. Angulo. 2013. La jornada ecológica, el auge de la minería... Nos enseña el cobre. Número especial.
- López, M. A., R. Valdivia, J. L. Romo, M. Sandoval y B. S. Larqué. 2010. Valoración económica de una mina de arena. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, 28(3): 255-263.
- López, F. y M. M. Eslava. 2011. El mineral o la vida. La legislación minera en México. Pez en el árbol editorial. 80 pp.
- Mata, M., E. J. Treviño, J. Jimenez, O. A. Aguirre, E. Alanís y R. Foroughbakhch. 2014. Prácticas de rehabilitación en un ecosistema semiárido afectado por el establecimiento de un banco de material, en el noreste de México. Ciencia UAT. En prensa.
- Martínez, D. D., J. Jiménez, E. Alanís, J. I. Uvalle, P. Canizales y L. Rocha. 2014. Regeneración natural del matorral espinoso tamaulipeco bajo una plantación de Eucalyptus spp. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 21(5): 94-107.
- Panorama Minero del estado de Nuevo León, 2011. Servicio geológico mexicano. Coordinación general de minería. 57 pp.
- Pequeño, L. M.; E. Alanís, J. Jiménez, M. A. González, I. Yerena, L. G. Cuellar y A. Mora. 2012. Análisis de la restauración pasiva post-pecuaria en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. Ciencia UAT, 24(2): 48-53.

Society for ecological restoration (SER) International, 2004. Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas.

Šálek, M. 2012. Spontaneous succession on opencast mining sites: implications for bird biodiversity. *Journal of Applied Ecology*, 49(6): 1417-1425.

Virah-Sawmy, M., J. Ebeling y R. Taplin. 2014. Mining and biodiversity offsets: A transparent and science-based approach to measure “no-net-loss”. *Journal of Environmental Management*, 143: 61-70.

Van Andel, J. y J. Aronson. 2012. Getting started, in restoration ecology: The new frontier, second edition (eds J. van Andel and J. Aronson), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. doi: 10.1002/9781118223130.ch1.

Zahawi, R. A., J. L. Reid y K. D. Holl. 2014. Hidden Costs of Passive Restoration. *Restoration Ecology*, 22(3): 284-287.

Zhao, Z., Z. Bai, Z. Zhang, D. Guo, J. Li, Z. Xu y Z. Pan. 2012. Population structure and spatial distributions patterns of 17 years old plantation in a reclaimed spoil of Pingshuo opencast mine, China. *Ecological Engineering*, 44: 147-151.

CAPITULO II



Personal de GEMA, S.A., en el muestreo de la vegetación
Cantera de roca caliza, zona de voladora 1
Foto: Jonathan Marroquín, 2013

2. Materiales y Métodos

2.1 Área de estudio

El estudio se realizó en las instalaciones de una pedrera con actividad de minería cielo abierto, la cual se localiza en las coordenadas N 26°03'; O 99°44', con una altitud de 444 msnm; ubicado a 12 km. de la cabecera municipal de Cerralvo, Nuevo León (Noreste de México, Figura 1).

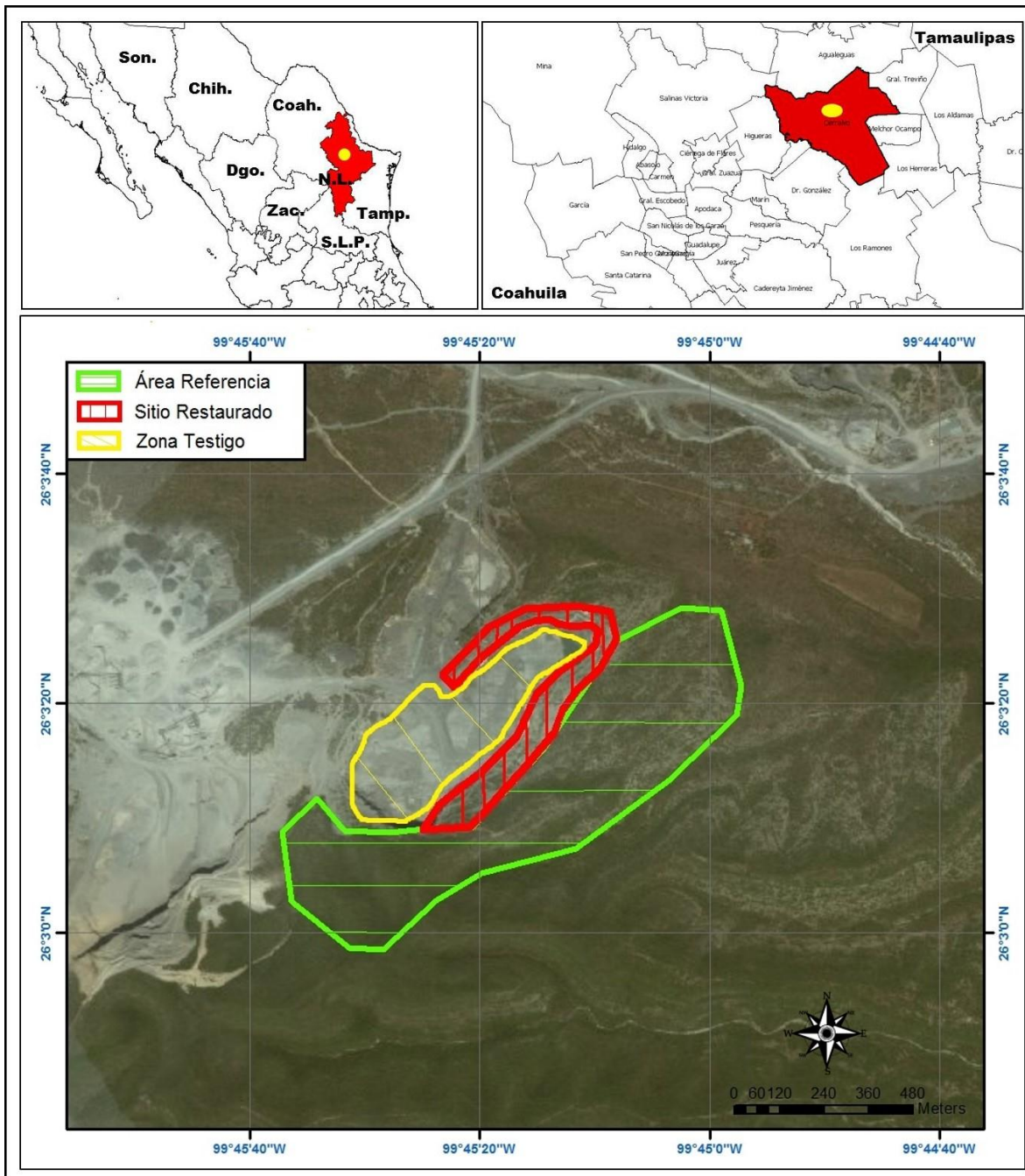


Figura 1. Ubicación del área de estudio, en Cerralvo, Nuevo León.

El presente estudio se ubica dentro de la Sierra de Picachos, zona biológicamente importante. Fue identificada en febrero de 1996 por el Instituto Nacional de Ecología de la entonces SEMARNAP como una de las Regiones Prioritarias para la Conservación, con la clave N° 60, durante el Taller "Identificación de Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) para la Conservación en México". También fue denominada Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA) y como Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP). Por ello la importancia realizar estudios bases que sirvan de premisa para futuros programas de restauración (Figura 2).

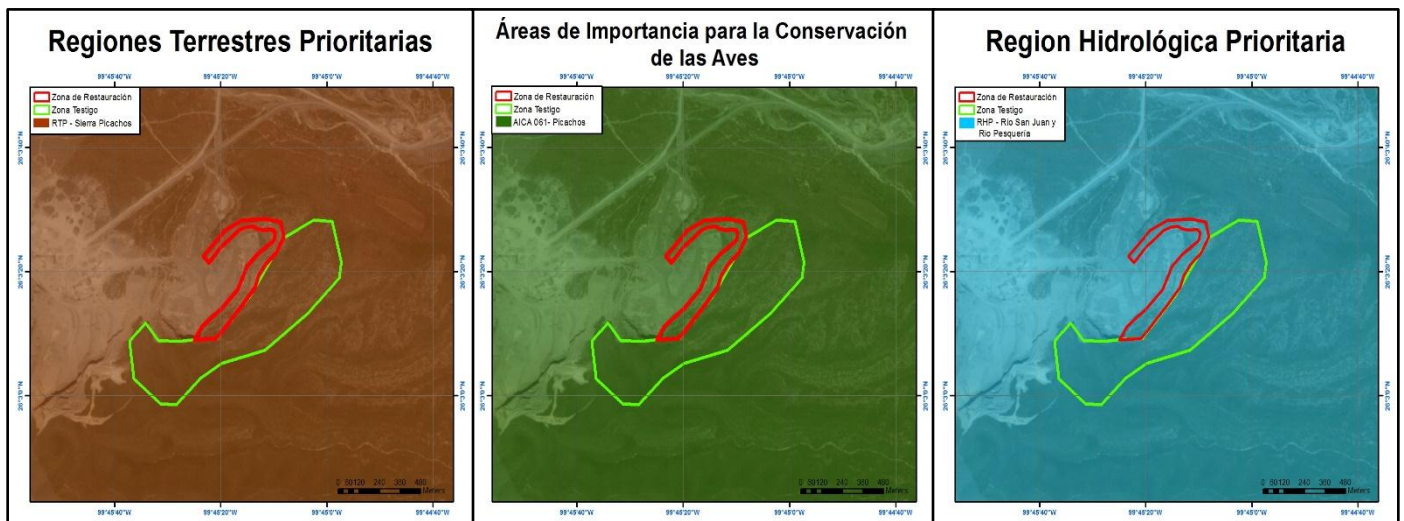


Figura 2. Ubicación de la RTP, AICA y RHP, dentro del área de estudio.

El clima es del subtipo semiseco semicálido con lluvias en verano, la temperatura media anual varía entre 21.3° y 27.4°C. Los meses de mayor precipitación pluvial son Septiembre y Octubre, con un promedio anual de 596.6 mm.

2.2 Diseño experimental

Para analizar las especies vegetales, en el invierno del año 2013 se evaluaron dos áreas regeneradas, la primera identificada como sitio Restaurado (SR) y la segunda como sitio Testigo (ST), del MET con historial de uso minero. Del mismo modo que se evaluó un área referencia (AR) (Sin perturbación).

En las áreas seleccionadas, se tiene la certeza que no se han desarrollado actividades que hayan causado algún tipo de perturbación (Figura 3).



Figura 3. Sitios evaluados: I) Área de estudio, sometida a procesos de fragmentación de roca; II) Sitio testigo (ZT); III) Sitio restaurado siete años (SR); IV) Área de Referencia (AR), caracterizada por la presencia de vegetación natural.

Siete años después de la actividad minera y de restauración (en Septiembre de 2013) se establecieron 36 sitios de muestreo, 12 por cada área. Los sitios de muestreo fueron de forma cuadrada de 10 × 10 m (100 m²) y se distribuyeron aleatoriamente (Figura 4). En los sitios de muestreo se realizó un censo de todas las especies vegetales (≥ 10 cm de altura). A cada individuo se le efectuaron mediciones dasométricas de altura total (h) y de diámetro de copa (d_{copa}). Las especies fueron identificadas por personal calificado de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Sitios de Muestreo de Flora

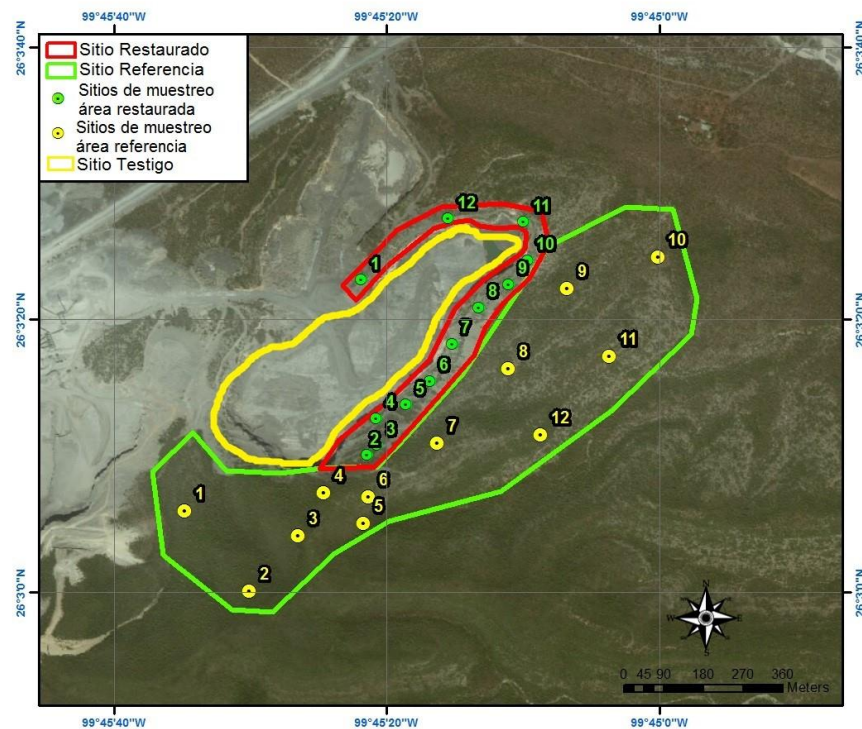


Figura 4. Ubicación de los sitios de muestreo, seleccionados aleatoriamente.

CAPITULO III

3. Composición florística y diversidad de la regeneración natural, post-minería a cielo abierto en el MET.



Equipo de trabajo, estableciendo áreas de muestreo
Cantera de roca caliza, zona de voladora 1
Foto: Manuel Mata, 2013

En evaluación como: **Marroquín, C.J.; E. Alanís, J. Jiménez, O. Aguirre, M. Mata, A. Chávez. 2014. Composición florística y diversidad de un área regenerada post-minería en el matorral espinoso tamaulipeco. Revista Polibotánica.**

3.1 Resumen

La restauración ecológica de espacios afectados por el aprovechamiento de materiales a cielo abierto debe tener como objetivo reconstruir los ecosistemas naturales del entorno. La presente investigación tiene la finalidad de evaluar un área sujeta a la restauración activa en el matorral espinoso tamaulipeco, la cual fue sometida a procesos de aprovechamiento a cielo abierto para la obtención de

caliza, materia prima en los procesos de construcción. La técnica de restauración consistió en depositar material rocoso y edáfico en el área y excluirla de cualquier actividad productiva. Después de siete años se evaluó la comunidad vegetal mediante 12 sitios de muestreo de 100 m² (10 x 10 m). Con la información recabada se determinaron a nivel especie los indicadores ecológicos de: abundancia, dominancia, frecuencia e Índice de valor de importancia, y a nivel comunidad los índice de Margalef e Índice de Shannon-Wiener. Se registraron un total de 22 especies pertenecientes a 19 géneros y 13 familias. La familia con mayor presencia fue la Fabaceae, con 5 especies. La especie que presenta el mayor peso ecológico en el área estudiada es *Brickellia veronicifolia* cuyo índice de valor de importancia fue de 59.19 %. A nivel comunidad, se registró un valor de H' de 1.49 y un valor D_{Mg} de 3.12. Con esta investigación se concluye que las técnicas de restauración de depositar material rocoso y edáfico en el área y excluirla de cualquier actividad productiva generan condiciones favorables para que la comunidad vegetal del matorral espinoso tamaulipeco se establezca después de la actividad minera a cielo abierto.

3.2 Introducción

Las zonas mineras representan alrededor del 1% de la superficie terrestre del mundo (Šálek, 2012). A nivel mundial el sector minero y de metales tuvo un aumento superior al 13%, en los últimos dos años (Lira, *et al.*, 2013). En el año 2012, el 22% del conjunto mundial de minas a cielo abierto se encontraba en América Latina y el Caribe. Más del 85% de las grandes explotaciones actuales y planificadas de minería de la región son a cielo abierto (David *et al.*, 2013).

En México la minería es una industria floreciente. Su incidencia en la economía mexicana comenzó a tener importancia en la década de los noventa, en la actualidad los principales productos de la minería mexicana son el oro y plata. La minería a cielo abierto, en industrias pedreras en la actualidad representa para el país el 7% para los productos de grava y arenas (Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2009).

Los primeros antecedentes de exploración en el estado de Nuevo León (noreste de México) se remontan a los inicios del siglo XVII, cuando fueron descubiertas las minas de plomo - zinc de Cerralvo. Actualmente las actividades de exploración se limitan a productos no metálicos, destacando las empresas productoras de yeso, barita, caliza, fosforita, dolomita, sales de sodio, sílice, cemento, carbonato de calcio y arcillas (Panorama Minero del estado de Nuevo León, 2011).

En el año 2010, la Secretaría de Economía entregó 1,911 títulos de concesiones en México, abarcando una superficie de 40,144.37 km². (Lopez, *et al.*, 2011). Los beneficios económicos de la extracción mineral son elevados; sin embargo, existe la paradoja entre el crecimiento económico contra los problemas ambientales que acarrea dicho crecimiento; no obstante pocas veces se han demostrado cuantitativamente las aseveraciones de daños al ambiente (López, *et al.*, 2010; Virah-Sawmy *et al.*, 2014).

La minería a cielo abierto consiste en retirar la vegetación, el suelo y, cuando es necesario, la voladura de la roca madre para obtener acceso al recurso deseado. Las explotaciones mineras a cielo abierto se desarrollan, con frecuencia, en

espacios naturales cuyo valor paisajístico y ecológico se ven mermados por la severamente alteración que reciben (Jorba, M. y Vallejo, R., 2006). Cuando se concluye con las actividades de aprovechamiento a cielo abierto surge la necesidad de mitigar los daños ocasionados por la misma y emprender acciones de restauración para revertir sus efectos (Batty, 2005; Boyer *et al.*, 2010; Zhao *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2013; Biswas *et al.*, 2013; Mata *et al.*, 2014).

Según la Asociación de Restauración Ecológica Internacional (SERI) se define como restauración ecológica el proceso basado en promover el restablecimiento de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (SER, 2004). La restauración ecológica tiene como finalidad generar las condiciones ambientales y bióticas para que se recupere el sistema natural afectado y sea autosustentable. En el caso de las canteras, la recuperación no es fácil, en la medida en que los ecosistemas deben crearse de nuevo totalmente e integrarse en el paisaje, y resulta especialmente difícil si se desarrolla en clima semiárido, donde alternan periodos secos con periodos de lluvias torrenciales (Jorba, M. y Vallejo, R., 2008; Van Andel *et al.*, 2012).

Los proyectos de restauración deben tener metas claras y objetivos cuantificables. Para ellos es importante tener un ecosistema de referencia. Un ecosistema de referencia sirve de modelo para la planificación de un proyecto de restauración ecológica y posteriormente, servir en la evaluación de ese proyecto (SER, 2004; Keenelyside *et al.*, 2012). Una vez que se cuenta con objetivos claros y un ecosistema de referencia, es importante conocer o evaluar la resiliencia del ecosistema (Doak *et al.*, 1998; Cuevas, 2010; Keenelyside *et al.*, 2012).

Bajo ciertas circunstancias, la suspensión de actividades humanas es suficiente para que un ecosistema pueda recuperar las condiciones básicas para la restauración en forma autónoma (restauración pasiva), especialmente si la extensión del daño es pequeña, o si existen áreas aledañas que cuenten con germoplasma nativo local o bien no existe una secuela de contaminación residual de larga duración en suelos, agua y aire (Hough-Snee *et al.*, 2013; Mata *et al.*, 2014; Zahawi *et al.*, 2014). En esos casos, varias especies pioneras pueden reiniciar la secuencia de colonización y restablecimiento de la vida silvestre local de manera continua y, en consecuencia, la recuperación de las propiedades de orden superior del ecosistema (resistencia, resiliencia, entre otras.) (Mata *et al.*, 2014).

Si bien, existe literatura que evalúa la regeneración de las comunidades vegetales del matorral espinoso tamaulipeco después de actividades silvícolas (Martínez *et al.*, 2014) y agropecuarias (Jiménez *et al.*, 2012; Pequeño *et al.*, 2012; Alanís *et al.*, 2013; Jiménez *et al.*, 2013), se tiene poca información en relación a la regeneración de este ecosistema semiárido afectado por el aprovechamiento de materiales. La presente investigación tiene la finalidad de evaluar la composición y diversidad de las especies vegetales en un sitio post-minería luego de la realización de acciones de restauración activa en el matorral espinoso tamaulipeco, la cual fue sometida a procesos de aprovechamiento a cielo abierto para la obtención de caliza, materia prima en los procesos de construcción. La técnica de restauración consistió en depositar material rocoso y edáfico en el área y excluirla de cualquier actividad productiva.

3.3 Objetivo

Evaluar la resiliencia mediante la composición y estructura de especies en un sitio regenerado naturalmente. Excluido de actividad antropogénica.

3.4 Hipótesis

La restauración pasiva (resiliencia) no es recomendable en áreas post-minería en ecosistemas áridos, ya que las condiciones edáficas y ambientales no favorecen la regeneración natural.

3.5 Análisis de la vegetación

Para analizar las especies vegetales, se seleccionó una superficie del MET con historial de uso minero de roca caliza. El área fue explotada desde el año 2000 hasta el año 2006, mediante procesos de voladuras (Fragmentar la roca) a cielo abierto. Después de la explotación minera, en el año 2006 se presentaba roca expuesta. Para asistir la recuperación de la comunidad vegetal utilizaron como técnicas de restauración el depósito de material rocoso y edáfico en el área y la exclusión mediante un cerco perimetral del área para evitar de cualquier actividad productiva (principalmente la pecuario).

En el invierno del año 2013 (7 años después de haber sido abandonado el banco de materiales) se establecieron de manera aleatoria 12 sitios de muestreo de forma cuadrada de 10 × 10 m (100 m²). En los sitios de muestreo se realizó un censo de todas las especies vegetales (≥10 cm de altura). A cada individuo se le efectuaron mediciones de diámetro de copa (d_{copa}).

3.6 Análisis de la información

Para cumplir con los objetivos, se estimaron los parámetros ecológicos de abundancia (A_{Ri}), dominancia (D_{Ri}) y, frecuencia (F_{Ri}) de cada especie. Los resultados se utilizaron para obtener un valor ponderado a nivel de taxón denominado índice de valor de importancia (IVI) que adquiere valores porcentuales en una escala del 0 al 100 (Magurran, 2014). La diversidad, en su definición, considera tanto al número de especies como también al número de individuos (abundancia) de cada especie existente en un determinado lugar. En este estudio se utilizó el índice de Shannon & Weiner, uno de los más frecuentes para determinar la diversidad de plantas de un determinado hábitat (González *et al.*, 2010). Para estimar la riqueza de especies se utilizó el índice de Margalef (D_{Mg}).

Para la estimación de la abundancia relativa se empleó la siguiente ecuación:

$$A_i = N_i / S$$

$$AR_i = \frac{A_i}{\sum A_i} * 100$$

$$i = 1 \dots n$$

donde A_i es la abundancia absoluta, AR_i es la abundancia relativa de la especie i respecto a la abundancia total, N_i es el número de individuos de la especie i , y S la superficie de muestreo (ha).

La dominancia relativa se evaluó mediante:

$$D_i = \frac{Ab_i}{S(\text{ha})}$$

$$DR_i = \frac{D_i}{\sum_{i=1}^n D_i} * 100$$

$$i = 1 \dots n$$

donde D_i es la dominancia absoluta, donde DR_i es la dominancia relativa de la especie i respecto a la dominancia total, Ab el área de copa de la especie i y S la superficie muestreada (ha).

La frecuencia relativa se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$F_i = \frac{P_i}{NS}$$

$$FR_i = \frac{F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} * 100$$

$$i = 1 \dots n$$

donde F_i es la frecuencia absoluta, donde FR_i es la frecuencia relativa de la especie i respecto a la frecuencia total, P_i es el número de sitios en la que está presente la especie i y NS el número total de sitios de muestreo. El índice de valor de importancia (IVI) se define como:

$$IVI = \frac{AR_i + DR_i + FR_i}{3}$$

Para estimar la riqueza de especies se utilizó el índice de Margalef (D_{Mg}) y para la diversidad alfa el índice de Shannon & Weiner (H') mediante las ecuaciones:

$$D_{Mg} = \frac{(s - 1)}{\ln(N)}$$

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i * \ln(p_i)$$

$$p_i = n_i / N$$

Donde s es el número de especies presentes, N es el número total de individuos y n_i es el número de individuos de la especie i .

Para describir la estructura de la comunidad se generó una gráfica de dominancia-diversidad (Brower *et al.*, 1998), la cual describe la relación del valor de importancia de las especies en función de un arreglo secuencial de especies, de la más a la menos importante (Martella *et al.*, 2012).

3.7 Resultados y discusión

En total se registraron, 22 especies pertenecientes a 19 géneros y 13 familias. La familia con mayor presencia fue la Fabaceae (5 especies), seguido por Malvaceae y Poaceae (3 en ambos casos), y la Asteraceae (2 especies), mientras el resto de las familias presentó una especie (Cuadro 1). Diversos estudios en minas abandonadas refieren a estas familias como dominantes en minas en proceso de recuperación. Díaz et al. (2005) reportaron 44 especies pertenecientes a 19 familias en una mina en Zacatecas, siendo Asteraceae, Poaceae y Solanaceae las que se presentaron comúnmente. Los mismos autores en una mina de Temascaltepec, México registraron 29 especies vegetales pertenecientes a 12 familias, siendo Asteraceae, Leguminosae y Poaceae las de mayor riqueza de especies. En bancos de material abandonados, Muñoz et al. (2006) registraron 50 especies vegetales representadas en nueve familias, siendo las especies dominantes de las familias Poaceae, Asteraceae y Leguminosae.

La presencia de la familia Fabaceae, se asocia a su capacidad de establecimiento en condiciones ambientales adversas, déficit hídrico y baja disponibilidad de nitrógeno. Domínguez et al. (2013) menciona que las especies pertenecientes a las Fabaceas son más tolerantes a la sequía edáfica, ya que presentan valores más altos en el potencial hídrico del xilema al pre-amanecer y al mediodía, bajo condiciones de falta de agua, respecto a otras especies. Asimismo, Domínguez et al., (2013), Molina-Guerra et al., (2012) y Pequeño et al., (2013) refieren que las áreas que han sufrido algún tipo de disturbio por la actividad antropogénica, en este caso la actividad minera, tienden a reflejar una baja disponibilidad de

nitrógeno, resultando en el establecimiento de especies con esta características en las primeras fases de sucesión ecológica (Cuadro 2).

A nivel especie, (Cuadro 3). *Brickellia veronicifolia* fue la que presentó mayor presencia estructural, mostrando los resultados más altos para abundancia, dominancia, frecuencia y valor de importancia. Esta especie arbustiva pionera no es característica de alguna fase sucesional del MET (Jiménez *et al.*, 2013; Alanís *et al.*, 2013), y ha sido reportada para el estado de Nuevo León en el Matorral Submontano (Estrada-Castillón *et al.*, 2011) y en el matorral xerófilo y bosques de encino del Parque Nacional Cumbre de Monterrey (Estrada-Castillón *et al.*, 2013). Los resultados estructurales concuerdan con los reportados por Carrillo y González-Chávez (2006), Hernández-Acosta *et al.* (2009) y Ortega (2012), quienes registraron esta especie como importante en áreas regeneradas después de actividades mineras. La alta presencia de esta especie se debe a que se desarrolla bien sobre lutita y caliza, resulta pionera en ecosistemas degradados por actividades mineras, debido a sus sistemas de raíces profundas, las cuales puedes establecerse sobre suelos pobres y altamente rocosos. Otra estrategia evolutiva es la gran cantidad de semillas pequeñas con cerdas plumosas, estas últimas características de diáporas con dispersión pogonócora (Martínez, *et al.*, 2012), que les confiere una alta eficiencia a la dispersión en largas distancias (Cain *et al.*, 2012). Asimismo, *Brickellia veronicifolia* pierde la parte aérea en los períodos críticos del año (hemicriptofita), lo que les permite adaptarse a las condiciones de carencia de agua y también escapar de factores que ponen en peligro su supervivencia en estos hábitat (Franco, 2005). Carrillo y González-

Chávez (2006) determinaron que es una especie que acumula altas concentraciones de cadmio, plomo, zinc y cobre, por lo tanto tolera áreas contaminadas con estos elementos característicos de zonas de explotación minera.

Referente a la abundancia, la comunidad evaluada presenta 6867 N/ha. Luego de *B. veronicifolia*, las dos especies que presentaron mayor abundancia fueron *Aristida adscencionis* y *Melinis repens*; junto con *B. Veronicifolia*, estas especies sumaron el 77.06% de la abundancia proporcional de la comunidad vegetal. Por otro lado las especies que presentaron los valores más bajos de abundancia fueron *Malvastrum coromandelianum* y *Anagalis arvensis*.

A nivel comunidad, el área evaluada presentó 6352 m² cubiertos por las copas, es decir existe un 63.52% de área con cobertura vegetal. Esta cobertura vegetal es importante, ya que crea un microambiente para que se desarrollen otras especies e incorpora material orgánico para la formación del suelo. A nivel especie, se tiene que *Brickellia veronicifolia* cubre el 90.25% del área cubierta, seguida por *Senna lindheimeriana*, *Dodonaea viscosa* y *Abutilon dugesii*.

La familia Asteraceae registra la mayor frecuencia absoluta, seguida de la familia Poaceae, con 68.20 % y 11.04 %, siendo la familia Primulacea la que presenta menor frecuencia absoluta con 0.12 %. A nivel especie, *Brickellia veronicifolia*, aparece en todos los sitios, seguido de *Abutilon dugesii* y *Meximalva filipes* con 42% de presencia en los sitios de muestreo.

La familia Asteraceae registra el mayor IVI, reportando más de una tercera parte del peso ecológico para la comunidad vegetal. La taxa que sobresale por su peso ecológico fue la especie *Brickellia veronicifolia* con 59.19 %, mientras que la segunda y la tercera especie con mayor importancia fueron *Abutilon dugesii* con 4.08 % y *Senna lindheimeriana* con 3.79 %.

El gráfico de dominancia-diversidad presenta una distribución de modelo geométrico, según este modelo, la comunidad está compuesta por unas pocas especies muy abundantes y las restantes prácticamente raras. El modelo supone que las especies difieren marcadamente en su dominancia competitiva, de manera que las especies más dominantes ocupan una fracción grande del nicho y las demás especies deben repartirse lo que queda. Este patrón se observa básicamente en estadios tempranos de una sucesión o en ambientes desfavorables (Martella *et al.*, 2012). Para este estudio la única especie que presentó un valor de importancia alto fue *Brickellia veronicifolia* (Figura 5).

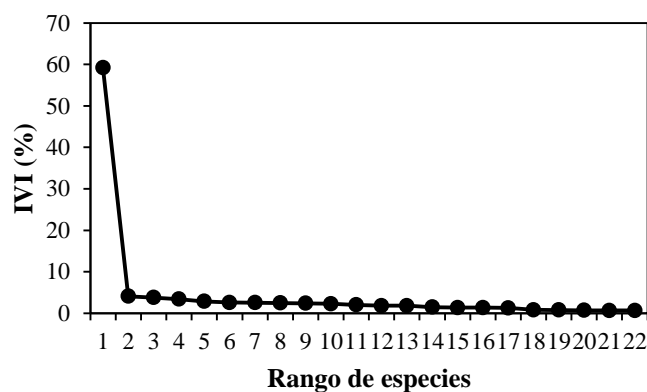


Figura 5. Curva de dominancia-diversidad basada en IVI y rango de especies.

La riqueza específica fue de 22 especies, similar a lo reportado por Mora et al., (2013) e inferior a lo obtenido por Pequeño et al, (2013), en ambos casos se evaluó la regeneración en áreas con perturbación antropogénica en el MET. El valore de riqueza del índice de Margalef fue de $D_{Mg} = 3.12$. Valor similar, y ligeramente menor, a los reportados por Moreno et al., (2013) y Sarmiento et al., (2013). No obstante, la comunidad vegetal presenta una alta riqueza de especies si se compara con otras áreas regeneradas del matorral como lo reporta Pequeño et al., (2013), Domínguez et al., (2013) y Mora et al., (2013). De acuerdo al índice de Shannon, la comunidad presenta un valor de 1.49, valor bajo comparado con los de áreas con historial de uso silvícola y agrícola ya que Jiménez et al., (2012) registraron valores de diversidad alfa de $H' = >2.24$ así como Molina-Guerra et al., (2012) quienes a su vez estudiaron la composición y diversidad vegetal en áreas con sistemas de pastoreo en el MET del NE de México y obtuvieron valores $H' = >2.22$ y Mora et al., (2013) registró una diversidad alfa $H' = 1.95$ evaluando el efecto de la ganadería en el MET. No obstante resulta similar y superior a los registrado por Pequeño et al., (2013), quien presenta valores de $H' = 1.27$, en un análisis de la restauración, pos-pecuaria en el MET (Cuadro 4).

Cuadro 4. Índice de riqueza y diversidad de especies, en el área estudiada.

Índices	Valores
Riqueza específica por Especie	22
Riqueza específica por Familia	13
Shannon (H')	1.49
Margalef (D_{Mg})	3.12

En términos de la comunidad regenerativa arbórea y arbustiva característica del MET, ninguna de las especies reportadas en este trabajo como abundantes y estructuralmente importantes corresponden a las reportadas en estudios previos de la regeneración del MET en áreas abandonadas luego de su aprovechamiento en ganadería extensiva e intensiva, agricultura, y matarrasa (Alanís *et al.*, 2008; Alanís *et al.*, 2013; Jiménez *et al.*, 2013). Estas diferencias en composición de especies pueden deberse en buena medida a la menor intensidad del disturbio generado por estas prácticas silvoagropecuarias. Los factores limitantes en las condiciones del sustrato características de este estudio, son la baja cantidad de suelo orgánico y la alta presencia de gravas y arenas gruesas. Otro factor es la escasa disponibilidad de humedad. Estos factores limitantes parecieran restringir el establecimiento, a corto plazo, de las especies colonizadoras típicas de disturbios silvoagropecuarios (Alanís *et al.*, 2013; Jiménez *et al.*, 2013).

Además de estas diferencias que pudieran sugerir un retraso en el proceso sucesional, en el estudio se registraron a *Acacia rigidula*, *Cordia boissieri*, *Havardia pallens*, *Karwinskia humboldtiana* y *Leucophyllum frutescens* (Tabla 1), especies características y estructuralmente importantes del MET en condiciones prístinas, tanto del estrato arbustivo-arbóreo alto como arbustivo medio (García-Hernandez *et al.*, 2008; Mora *et al.*, 2013). Esto muestra una tendencia a la recuperación de la composición vegetal, ya que se registraron especies típicas de comunidades vegetales de estadios avanzados de la sucesión.

Se espera que este estudio sirva como base para futuros trabajos de restauración y/o rehabilitación de áreas degradadas por la minería en el noreste de México, ya

que ha contribuido al conocimiento de las especies pioneras en áreas intervenidas. Se espera que los futuros proyectos donde se pretenda hacer acciones de revegetación, tomen en consideración la selección adecuada de las especies, donde se deben considerar especialmente aquellas especies pioneras que colonizan de manera natural y rápida las zonas afectadas.

3.8 Conclusiones

Con los resultados de la presente investigación se concluye que 1) las técnicas de restauración de depositar material rocoso y edáfico en el área y excluirla de actividades productivas generan condiciones favorables para que la comunidad vegetal del matorral espinoso tamaulipeco se establezca después de la actividad minera a cielo abierto, esta capacidad de regeneración se ve reflejada en sus valores de densidad, cobertura, riqueza y diversidad, 2) dicha comunidad de acuerdo a la gráfica de dominancia-diversidad presenta una distribución de modelo geométrico, ya que está dominada por la alta presencia de la especie *Brickellia veronicifolia*. 3) La especie de mayor importancia por su contribución estructural a la comunidad fue *Brickellia veronicifolia*. 4) La familia con mayor presencia fue la Asteraceae lo cual se atribuye a que presenta uno de los mecanismos de dispersión más eficientes. La presente investigación proporcionó información cuantitativa sobre la restauración pasiva en un sitio post-minería a cielo abierto en el MET, generando información fitosociológica de la comunidad vegetal y elementos cuantitativos que servirán de base para futuros programas de manejo, restauración y rehabilitación del ecosistema.

3.9 Literatura citada

- Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2009. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). 100 pp.
- Alanís, E.; J. Jiménez, O. Aguirre, E. Treviño, E. Jurado y M. González. .2008. "Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco". Ciencia UANL 10(1): 56-62.
- Alanís, E.; J. Jiménez, A. González, I. Yerana, L. G. Cuellar y A. Mora. 2013. "Análisis de la vegetación secundaria del matorral espinoso tamaulipeco, México". Phytan International Journal of Experimental Botany, 82: 185-191.
- Alvarez, R. y S. Medellín. 2002. Programa de Manejo de la Zona Sujeta a Conservación Ecológica "Cerro Picachos", 1: 1-78.
- Batty, L. C. 2005. "The potential importance of mine sites for biodiversity". Mine water and the Environment, 24(2): 101-103.
- Biswas, C. K.; P. Mishra, A. Mukherjee. 2013. "Floral diversity in sites deranged by opencast mining in Sonepur Bazari of Raniganj coalfield area, West Bengal". Indian J. Applied & Pure Bio. Vol, 28(2): 265-273.
- Boyer, S., y D. Wratten. 2010. "The potential of earthworms to restore ecosystem services after opencast mining—A review". Basic and Applied Ecology, 11(3): 196-203.
- Brower, J. E.; J.H. Zar, y C. N. Von Ende. 1998. General Ecology. McGraw-Hill. Estados Unidos. 273 pp.
- Cain, M.L.; B. Milligan y A. Strand. 2000. "Long-distance seed dispersal in plant populations". American Journal of Botany. 87:1217-1227.

- Canizales, P.A.; E. Alanís, R. Aranda, M. Mata, J. Jiménez, G. Alanís, J. Uvalle, y M. Ruiz. 2009. "Caracterización estructural del matorral submontano de la sierra madre oriental, Nuevo León, México". Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 15(2): 115-120.
- Cuevas, P., 2010. "Importancia de la resiliencia biológica como posible indicador del estado de conservación de los ecosistemas: implicaciones en los planes de manejo y conservación de la biodiversidad". Biológicas, 12: 1-7.
- Calvente, A.M., 2007. Resiliencia: un concepto clave para la sustentabilidad. 4 pp.
- Carrillo, R., y C. M. González. 2006. "Metal accumulation in wild plants surrounding mining wastes". Environmental Pollution, 144(1): 84-92.
- David, H.; J. Rosales, P. Ouboter. 2013. "Gestión del impacto de la explotación minera a cielo abierto sobre el agua dulce en América Latina". Banco Interamericano de Desarrollo Unidad de Salvaguardias Ambientales Nota técnica # IDB-TN-520. 40 pp.
- Díaz, G. L. M.; O. A. Díaz, G. R. Carrillo y C. M. González. 2005. "Plantas que se desarrollan en áreas contaminadas con residuos mineros". Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 161 pp.
- Doak, D. F.; D. Bigger, E. K. Harding, M. A. Marvier, R. E. O'Malley y D. Thomson. 1998. "The statistical inevitability of stability-diversity relationships in community ecology". American naturalist. Volumen 151, Issue 3: 264-276.
- Domínguez, G. T.; H. González, R. Ramírez, E. Estrada, I. Cantú, M. Gómez, J. Villarreal, S. Alvarado y G. Alanís. 2013. "Diversidad estructural del matorral espinoso

- tamaulipeco durante las épocas seca y húmeda”. *Revista mexicana de ciencias forestales*. Vol. 4, 17: 106–123.
- Estrada, C. E.; J. Villareal, E. Jurado, C. Cantú, M. García, J. Sánchez, J. Jiménez y M. Pando. 2011. “Clasificación, estructura y diversidad del matorral sub-montano adyacente a la planicie costera del Golfo Norte en el Noreste de México”. *Botanical Science*, 90(1):37-52.
- Estrada, C. E.; J. Villarreal, M. Salinas, H. Rodríguez, J. Jiménez y M. García. 2013. “Flora and phytogeography of Cumbres de Monterrey National Park, Nuevo León, México”. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, 7(2):771-801.
- Franco, I. M. G. 2005. “Estrategias de colonización de las plantas, para la restauración de jales de mina, en la sierra de Catorce, SLP”. Universidad Autónoma de Chapingo. Maestría en Ciencias Forestales. Artículos 2005, 1-19 pp.
- García J. y E. Jurado. 2008. “Caracterización del matorral con condiciones prístinas en Linares N. L., México”. *Ra Ximhai*, 4(1) 1-21.
- González, R. H.; R. Ramírez, I. Cantú, M. Gómez y J. Uvalle. 2010. “Composición de la estructura y vegetación de tres sitios del estado de Nuevo León, México”. *Revista Polibotánica*, 22: 91-106.
- Hernández, A. E.; R. E. Mondragón, D. Cristobal, J. E. Rubiños y E. Robledo. 2009. “Vegetación, residuos de mina y elementos potencialmente tóxicos de un jal de Pachuca, Hidalgo, México”. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 15(2): 109-114.
- Hernández, A.J.; A. Urcelai y J. Pastor 2003. “Evaluación de la resiliencia en ecosistemas terrestres degradados encaminada a la restauración ecológica. Ciudad, Sociedad,

- Educación, Control, Caos y Autoorganización”. Universitat de Valencia Departament de Matemàtica Aplicada. 10 pp.
- Hernández, J., y E. Jurado. 2008. “Caracterización del matorral con condiciones prístinas en Linares N.L., México”. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 4:1-21.
- Hough-Snee, N.; B. B. Roper, J. M. Wheaton, P. Budy y R. L. Lokteff. 2013. “Riparian vegetation communities change rapidly following passive restoration at a northern Utah stream”. *Ecological Engineering*, 58: 371-377.
- Jiménez, J.; E. Alanís, M. A. González, O. A. Aguirre y E. J. Treviño. 2013. “Characterizing woody species regeneration in areas with different land history tenure in the tamaulipan thornscrub, Mexico”. *The Southwestern Naturalist*, 58(3):299–304.
- Jiménez, J.; E. Alanís, J. L. Ruiz, M. A. González, J. I. Yerena y G. Alanís. 2012. “Diversidad de la regeneración leñosa del matorral espinoso tamaulipeco con historial agrícola en el NE de México”. *Ciencia UANL*, 15(2): 66-71.
- Jorba, M., y R. Vallejo. 2006. La restauración ecológica en minería: El proyecto EcoQuarry. *Canteras*, 891: 16-23.
- Jorba, M., y R. Vallejo. 2008. “La restauración ecológica de canteras: un caso con aplicación de enmiendas orgánicas y riesgos”. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 17(3): 119-132.
- Jorba, M., y R. Vallejo. 2010. *Manual per a la restauració de pedreres de roca calcàrica en clima mediterrani*, 1-108 pp.
- Jouquet, P.; E. Blanchart, y Y. Capowiez. 2013. “Utilization of earthworms and termites for the restoration of ecosystem functioning”. *Applied Soil Ecology*, 73: 34-40.

- Keenleyside, K.; N. Dudley, S. Cairns, C. Hall y S. Stolton. 2012. "Ecological restoration for protected areas: principles, guidelines and best practices". IUCN. Vol. 18.
- Lira, C.; C. Payan, I. Restrepo, L. Angulo. 2013. "La jornada ecológica, el auge de la minería... Nos enseña el cobre". Número especial.
- Li, J.; Y. Zheng, J. Yan, H. Li, X. Wang, J. He y G. Ding. 2013. "Effects of Different Regeneration Scenarios and Fertilizer Treatments on Soil Microbial Ecology in Reclaimed Opencast Mining Areas on the Loess Plateau, China". PloS one, 8(5), e63275.
- López, M. A.; R. Valdivia, J. L. Romo, M. Sandoval y B. S. Larqué. 2010. "Valoración económica de una mina de arena". Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, 28(3): 255-263.
- López, F.; M. M. Eslava. 2011. "El mineral o la vida. La legislación minera en México". Pez en el árbol editorial. 80 pp.
- Mata, M.; E. J. Treviño, J. Jimenez, O. A. Aguirre, E. Alanís y R. Foroughbakhch. 2014. "Prácticas de rehabilitación en un ecosistema semiárido afectado por el establecimiento de un banco de material, en el noreste de México". Ciencia UAT. En prensa.
- Martella, M.; E. Trumper, L. Bellis, D. Renison, P. Giordano, G. Bazzano y R. Gleiser. 2012. "Manual de Ecología: Evaluación de la biodiversidad". Reduca (Biología). Serie Ecología, 5(1):71-115.
- Martínez, D. D.; J. Jiménez, E. Alanís, J. I. Uvalle, P. Canizales, L. Rocha. 2014. "Regeneración natural del matorral espinoso tamaulipeco bajo una plantación de Eucalyptus spp". Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 21(5): 94-107.

- Martínez, O. Y.; S. Castillo, M. Hernández, M. Guadarrama y A. Orozco. 2012. "Seed rain after fire in a xerophytic shrubland". *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83: 447-457.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell, Cambridge, Massachusetts. 256 pp.
- Mora, C.A.; J. Jiménez, E. Alanís, E. Rubio, I. Yerena, M. A. González. 2013. "Efecto de la ganadería en la composición y diversidad arbórea y arbustiva del matorral espinoso tamaulipeco". *Revista Mexicana Ciencias Forestales*. 17(4): 124-137.
- Mora, C.A.; E. A. Rubio, E. Alanís, J. Jiménez, M. A. González, J. M. Mata y A. Mora. 2014. "Composición y diversidad vegetal de un área de Matorral Desértico Micrófilo con historia pecuario en el Noreste de México". *Revista Polibotánica*, 38: 127-140.
- Mora, C.A.; E. Alanís, J. Jiménez, M. A. González, J. I. Yerena, y L. G. Cuellar. 2013. "Estructura, composición florística y diversidad del matorral espinoso tamaulipeco, México". *Ecología Aplicada* 12(1):29-34.
- Moreno C. E. 2001. "Métodos para medir la biodiversidad. Manual y tesis SEA". Editado por Cooperación Iberoamericana (CYTED), Unesco (Orcyt) y SEA. Vol. 1. Pachuca, Hidalgo, México. 83 pp.
- Muñoz, U. A.; C. L. Romo, R. S. H. Contreras y M. M. Huerta. 2006. "Vegetación secundaria como un potencial biológico para la revegetación de áreas degradadas por la minería a cielo abierto en la zona de amortiguamiento del bosque La Primavera". *Memoria Avances en la Investigación Científica en el CUCBA*. Universidad de Guadalajara. México, 409-415 pp.
- Müeller-Dombois D. y H. Ellenberg. 1974. "Aims and methods of vegetation ecology". John Wiley and Sons, New Cork: 54 pp.

- Ortega, N.B. 2012. "Asociación entre la fracción bioaccesible y la bioacumulación en algunas especies vegetales que crecen en el cauce del arroyo de San Pedro". Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 182 pp.
- Panorama Minero del estado de Nuevo León, 2011. Servicio geológico mexicano. Coordinación general de minería. 57 pp.
- Pequeño, L. M.; E. Alanís, J. Jiménez, M. A. González, I. Yerena, L. G. Cuellar y A. Mora. 2012. "Análisis de la restauración pasiva post-pecuaria en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México". *Ciencia UAT*, 24(2): 48-53.
- Piñero, J.; F. Maestre, L. Bartolome y A. Valdecantos. 2013. "Ecotechnology as a tool for a restoring degraded drylands: A meta-analysis of field experiments". *Ecological Engineering*, 61: 133-144.
- Phillips, J. 2013. "The application of a mathematical model of sustainability to the results of a semi-quantitative Environmental Impact Assessment of two iron ore opencast mines in Iran". *Applied Mathematical Modelling*, 37: 7839-7854.
- Šálek, M. 2012. "Spontaneous succession on opencast mining sites: implications for bird biodiversity. *Journal of Applied Ecology*", 49(6): 1417-1425.
- Society for ecological restoration (SER) International, 2004. Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas.
- Van Andel, J. y J. Aronson. 2012. "Getting started, in restoration ecology: The new frontier, second edition (eds J. van Andel and J. Aronson), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK". doi: 10.1002/9781118223130.ch1.

Virah-Sawmy, M.; J. Ebeling y R. Taplin. 2014. "Mining and biodiversity offsets: A transparent and science-based approach to measure "no-net-loss"". *Journal of Environmental Management*, 143: 61-70.

Whittaker, R.H. 1972. "Evolution and measurement of species diversity". *Taxon*, 21: 213–251.

Zahawi, R. A.; J. L. Reid y K. D. Holl. 2014. "Hidden Costs of Passive Restoration". *Restoration Ecology*, 22(3): 284-287.

Zhao, Z.; Z. Bai, Z. Zhang, D. Guo, J. Li, Z. Xu y Z. Pan. 2012. "Population structure and spatial distributions patterns of 17 years old plantation in a reclaimed spoil of Pingshuo opencast mine, China". *Ecological Engineering*, 44: 147-151.

Cuadro 1. Nombre científico, nombre común, familia y forma de crecimiento de las especies presentes en el área de estudio. En las últimas dos columnas se indican las especies que han sido reportadas en áreas regeneradas después de actividades silvoagropecuarias (Alanís et al., 2013 y Jiménez et al., 2013) y prístinas (García-Hernández y Jurado, 2008; Mora et al., 2013).

Nombre Científico	Nombre Común	Familia	Forma de Crecimiento	Reportada en áreas regeneradas	Reportada en áreas prístinas
<i>Abutilon dugesii</i> S. Watso.	Abutilon	Malvaceae	Arbustiva		
<i>Acacia berlandieri</i> Bent.	Guajillo	Fabaceae	Arbustiva	X	
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	Huizache	Fabaceae	Arbustiva	X	X
<i>Acacia rigidula</i> Bent.	Gavia	Fabaceae	Arbustiva	X	X
<i>Anagallis arvensis</i> L.	Hierba del pájaro	Primulaceae	Herbácea		
<i>Aristida adscencionis</i> L.	Zacate tres barbas	Poaceae	Herbácea		
<i>Aristida Humb. & Bonpl. ex Willd.</i>	<i>divaricata</i> Zacate	Poaceae	Herbácea		
<i>Brickellia veronicifolia</i> (Kunth) Gray	Hierba del haito	Asteraceae	Arbustiva		
<i>Cevallia sinuata</i> Lag.	Abrojo	Loasaceae	Arbustiva		
<i>Cordia boissieri</i> A. DC.	Anacahuíta	Boraginaceae	Arbórea	X	X
<i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq.	Hierba de la cucaracha	Sapindaceae	Arbustiva		
<i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose.	Tenaza	Fabaceae	Arbórea	X	X
<i>Haploesthes greggii</i> A. Gray	Dyssodia	Asteraceae	Arbustiva		
<i>Karwinskia humboldtiana</i> (Schult.) Zucc.	Coyotillo	Rhamnaceae	Arbustiva	X	X
<i>Leucophyllum frutescens</i> (Berland.) I.M. Johnst.	Cenizo	Scrophulariaceae	Arbustiva		X
<i>Lippia graveolens</i> Kunth	Oreganillo	Verbenaceae	Arbustiva		
<i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Garcke	Huinare	Malvaceae	Herbácea		
<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka	Pasto rosado	Poaceae	Herbácea		
<i>Meximalva filipes</i> (A. Gray) Fryx.	Sida	Malvaceae	Arbustiva		
<i>Senna lindheimeriana</i> (Scheele) Irwin & Barneby	Senna	Fabaceae	Arbustiva		

<i>Waltheria americana</i> L.	Tapacola	Sterculiaceae	Arbustiva		
<i>Yucca filifera</i> Chabaud	Palma	Asparagaceae	Arbórea	X	X

Cuadro 2. Abundancia (N/ha), dominancia (m²/ha), frecuencia e Índice de Valor de Importancia de las familias registradas en el área de estudio (ordenadas según su valor de importancia).

Nombre Científico	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		IVI
	N/ha	Ar	m ² /ha	Dr	Abs.	Rel.	
Asteraceae	562	68.20	5743.62	90.41	4683.33	68.20	75.61
Poaceae	91	11.04	65.60	1.03	758.33	11.04	7.71
Fabaceae	52	6.31	219.86	3.46	433.33	6.31	5.36
Loasaceae	38	4.61	24.17	0.38	316.67	4.61	3.20
Malvaceae	26	3.16	114.61	1.80	216.67	3.16	2.70
Sapindaceae	18	2.18	92.08	1.45	150.00	2.18	1.94
Sterculiaceae	12	1.46	4.92	0.08	100.00	1.46	1.00
Rhamnaceae	10	1.21	45.17	0.71	83.33	1.21	1.05
Verbenaceae	5	0.61	6.67	0.10	41.67	0.61	0.44
Boraginaceae	4	0.49	25.75	0.41	33.33	0.49	0.46
Scrophulariaceae	3	0.36	9.58	0.15	25.00	0.36	0.29
Asparagaceae	2	0.24	0.67	0.01	16.67	0.24	0.17
Primulacea	1	0.12	0.08	0.00	8.33	0.12	0.08
	824	100	6352	100	6866	100	100

Cuadro 3. Densidad, cobertura, frecuencia e Índice de Valor de Importancia (IVI) de las especies presentes en una comunidad del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

Nombre Científico	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		IVI
	N/ha	Ar	m ² /ha	Dr	Abs.	Rel.	
<i>Brickellia veronicifolia</i>	4550	66.26	5733.81	90.25	100	21.05	59.19
<i>Abutilon dugesii</i>	142	2.06	88.84	1.39	42	8.77	4.08
<i>Senna lindheimeriana</i>	267	3.88	141.93	2.22	25	5.26	3.79
<i>Meximalva filipes</i>	67	0.97	25.58	0.40	42	8.77	3.38
<i>Cevallia sinuata</i>	317	4.61	24.14	0.38	17	3.51	2.83
<i>Melinis repens</i>	358	5.22	44.67	0.70	8	1.75	2.56
<i>Aristida adscencionis</i>	383	5.58	19.09	0.30	8	1.75	2.55
<i>Haploesthes greggii</i>	133	1.94	9.82	0.15	25	5.26	2.45
<i>Acacia farnesiana</i>	108	1.58	20.66	0.32	25	5.26	2.39
<i>Waltheria americana</i>	100	1.46	4.93	0.07	25	5.26	2.27
<i>Lippia graveolens</i>	42	0.61	6.66	0.10	25	5.26	1.99
<i>Karwinskia humboldtiana</i>	83	1.21	45.17	0.71	17	3.51	1.81
<i>Dodonaea viscosa</i>	150	2.18	92.08	1.44	8	1.75	1.80
<i>Cordia boissieri</i>	33	0.49	25.74	0.40	17	3.51	1.47
<i>Acacia rigidula</i>	17	0.24	20.58	0.32	17	3.51	1.36
<i>Leucophyllum frutescens</i>	25	0.36	9.58	0.15	17	3.51	1.34
<i>Yucca filifera</i>	17	0.24	0.64	0.01	17	3.51	1.25
<i>Acacia berlandieri</i>	25	0.36	18.41	0.28	8	1.75	0.80
<i>Havardia pallens</i>	17	0.24	18.93	0.29	8	1.75	0.77
<i>Aristida divaricata</i>	17	0.24	1.84	0.02	8	1.75	0.68
<i>Malvastrum coromandelianum</i>	8	0.12	0.59	0.00	8	1.75	0.63
<i>Anagallis arvensis</i>	8	0.12	0.05	0.00	8	1.75	0.63
	6867	100	6352.69	100	475	100	100

CAPITULO IV

4. Composición florística y diversidad de un área restaurada post-minería en el Matorral Espinoso Tamaulipeco.



Equipo de trabajo, estableciendo áreas de muestre
Cantera de roca caliza, zona de voladora 1
Foto: Manuel Mata, 2013

En evaluación como: **Marroquín, C.J.; E. Alanís, J. Jiménez, O. Aguirre, M. Mata, E. Rubio, A. Chávez. 2015. Composición florística y diversidad de un área restaurada post-minería en el matorral espinoso tamaulipeco. Revista Acta Botánica Mexicana.**

4.1 Resumen

Las estrategias de restauración tienen como objetivo favorecer la recuperación de los ecosistemas alterados, para lograr el restablecimiento de su estructura y funcionamiento naturales. La presente investigación evaluó la abundancia, dominancia, frecuencia y diversidad de especies en tres áreas de matorral espinoso tamaulipeco, dos de ellas fueron sometidas durante siete años (2006-

2013) a procesos de aprovechamiento a cielo abierto, a una se le aplicaron técnicas de restauración y a la otra no, se comparó utilizando un área en la que no se tiene perturbación registrada la cual se toma como área referencia. Para la toma de datos se establecieron 36 sitios de muestreo, 12 por cada una de las áreas, cuyas dimensiones fueron de 100 m² (10 x 10 m), en las que se registraron los atributos ecológicos de las comunidades vegetales establecidas. En el área sin restaurar no se registró regeneración de la comunidad vegetal. La riqueza específica (S), índice de Margalef (D_{MG}) e índice de Shannon (H') mostraron diferencias significativas entre el área restaurada y la de referencia (Valores medios S 4.75 y 8.25, D_{MG} 0.87 y 1.80, H' 0.7 y 1.54, respectivamente), mientras que las variables de densidad, área de copa e índice de Pretzsch (A) no mostraron diferencias. Se concluye que la técnica de restauración activa, la cual consiste en el depósito de material rocoso y edáfico en el área, y su exclusión de actividades productivas, generan condiciones favorables para que la comunidad vegetal del matorral espinoso tamaulipeco se establezca teniendo similitud en la densidad y área de copa a un área de referencia en siete años.

4.2 Introducción

Las zonas mineras representan alrededor de 1% de la superficie terrestre (Šálek, 2012). Registrando en los últimos dos años, un aumento superior a 13% (Lira et al., 2013). En el 2012, el 22% de las minas a cielo abierto se encontraban en América Latina y el Caribe y actualmente más de 85% de las grandes explotaciones planificadas de la región son a cielo abierto (David et al., 2013).

En México la minería es una industria floreciente. En la actualidad el 7% de la extracción lo representan los productos de grava y arenas (Anónimo, 2009). Para el estado de Nuevo León, las actividades de exploración se limitan a productos no metálicos, destacando las empresas productoras de yeso, barita, caliza y arcillas, entre otros. (Anónimo, 2011).

La minería a cielo abierto consiste en retirar la vegetación y el suelo y, cuando es necesario, la voladura de la roca madre para obtener acceso al recurso deseado. Estas se desarrollan con frecuencia en espacios naturales cuyo valor paisajístico y ecológico se ven mermados por la severa alteración que reciben (Jorba y Vallejo, 2006). Cuando se concluye con las actividades de aprovechamiento, surge la necesidad de mitigar los daños ocasionados por estas y emprender acciones de restauración para revertir sus efectos (Batty, 2005; Boyer *et al.*, 2010; Biswas *et al.*, 2013; Mata *et al.*, 2014). Las prácticas más comunes son el establecimiento de material edáfico (Wang *et al.*, 2014; Blanco *et al.*, 2010; Gil-Sotres *et al.*, 1993), la exclusión del área (Meuser, 2012) y la revegetación (Werner *et al.*, 2001). Como resultado del establecimiento de material edáfico y la exclusión del área de actividades productivas, se ve favorecido el establecimiento de las comunidades

vegetales propias de las localidades restauradas (Zhao *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2013).

En México las actuaciones de restauración ecológica implementadas post-minería han sido escasamente evaluadas y su efectividad raramente documentada. Debido a este escaso conocimiento aún no se ha determinado si estas prácticas son recomendadas.

El objetivo general de la presente investigación fue evaluar la efectividad del tratamiento de restauración ecológica a mediano plazo (siete años) en el matorral bajo procesos de aprovechamiento a cielo abierto de material calizo en el noreste de México.

4.3 Objetivo

Evaluar la composición y estructura de especies en un área referencia; compararlo con el área natural y un área testigo

4.4 Hipótesis

Existen diferencias en la composición y diversidad de especies, respecto de un área referencia a un área con restauración pasiva.

4.5 Diseño experimental

Durante 7 años (2000 – 2006) se realizó extracción de material calizo mediante procesos de voladuras a cielo abierto (fragmentar la roca). Después de la explotación minera, en el 2006 se presentaba roca expuesta. Para asistir la

recuperación de la comunidad vegetal se utilizó como técnica de restauración activa el depósito de material rocoso y edáfico en el área, junto con la exclusión del área mediante un cerco perimetral, esto para evitar cualquier actividad productiva (principalmente la pecuaria).

Para determinar la efectividad del tratamiento se evaluó la composición florística y diversidad de tres áreas: 1) restaurada (RES), el cual fue aprovechado y posteriormente restaurado 2) no restaurada (NRES), el cual fue aprovechado pero no restaurado y 3) referencia (REF), que fue una comunidad vegetal madura contigua a la mina sin perturbación registrada.

El área de referencia (REF) se ubicó en una zona contigua a la explotación minera, donde no existe registro histórico de alguna actividad productiva que implicara remoción total o parcial de la vegetación (como podrían ser ganadería, matarrasa, agricultura etc.). En el área seleccionada se tiene la certeza que no se han desarrollado actividades que hayan causado algún tipo de perturbación (Figura 6).

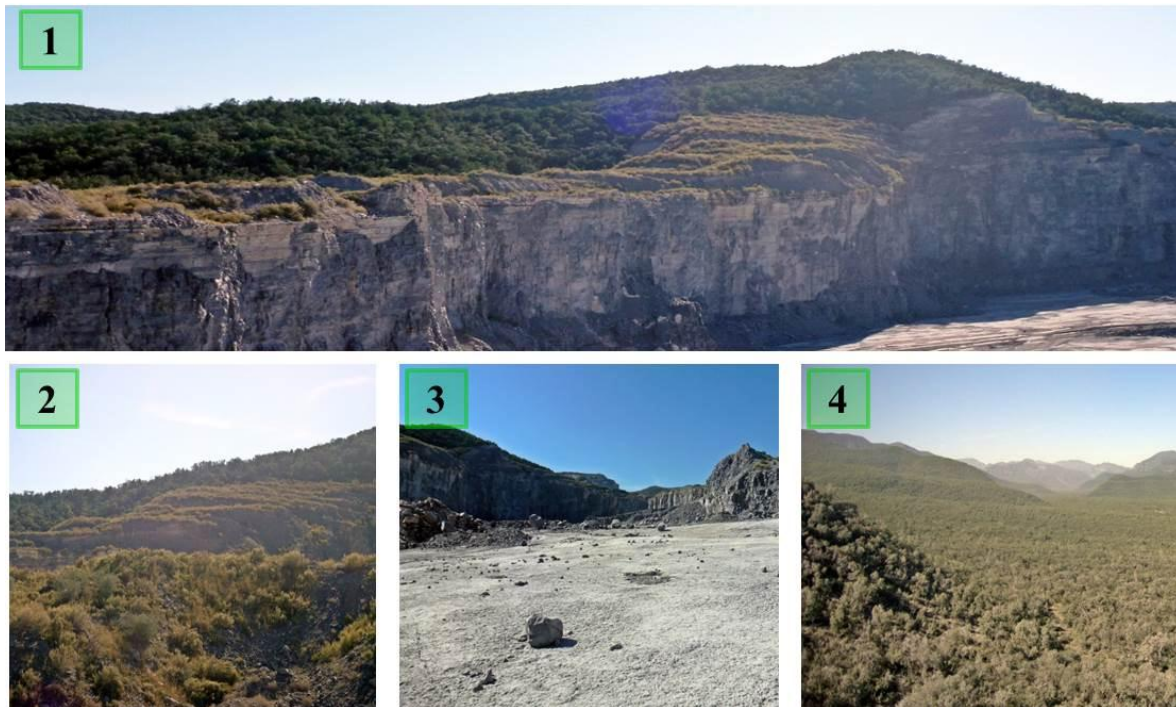


Figura 6. Áreas evaluadas: 1) Área de estudio, sometida a procesos de fragmentación de roca; 2) Área restaurada siete años (RES); 3) Área No Restaurada (NRES); 4) Área de Referencia (REF), caracterizada por la presencia de vegetación natural.

Siete años después de la actividad minera y de restauración (en Septiembre de 2013) se establecieron 36 sitios de muestreo cuadrados de 10×10 m (100 m^2), 12 en cada área, y se distribuyeron aleatoriamente. Se realizó un censo de todas las especies vegetales (≥ 10 cm de altura). A cada individuo se le efectuaron mediciones dasométricas de altura total (h) y de diámetro de copa (d_{copa}). Las especies fueron identificadas por personal calificado de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

4.6 Análisis de la vegetación

La riqueza de especies se calculó como el número de especies presentes en el sitio (S); además se utilizó el índice de Margalef (D_{Mg}). La diversidad, en términos del grado de heterogeneidad dentro de las especies, se calculó con el índice de Shannon & Weiner (H'). A continuación se describen dichos índices:

$$D_{Mg} = \frac{(s - 1)}{\ln(N)}$$

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i * \ln(p_i)$$

$$p_i = n_i / N$$

Donde s es el número de especies presentes, N es el número total de individuos y n_i es el número de individuos de la especie i .

Para la caracterización de la estructura vertical de las especies se utilizó el índice de distribución vertical de especies (A) (Del Río *et al.*, 2003; Pretzsch, 2009). Éste índice A puede tomar como valor mínimo de 0 y un valor máximo (A_{max}) variable dependiendo de la comunidad; un valor $A=0$ significa que el rodal está constituido por una sola especie que ocurre en un sólo estrato; y A_{max} se alcanza cuando la totalidad de las especies ocurren en la misma proporción tanto en el rodal como en los diferentes estratos (Corral *et al.*, 2005; Pretzsch, 2009). Para la estimación de distribución vertical de las especies, se definieron tres zonas de altura basado en Pretzsch (2009), siendo éstas: zona I: 80%-100% de la altura máxima del área; zona II: 50%-80%, y zona III: de 0 a 50%. El índice (A) sirve para determinar la

diversidad estructural en cuanto a la distribución vertical de las especies y se calcula con la siguiente fórmula:

$$A = - \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^Z p_{ij} * \ln p_{ij}$$

Donde S= número de especies presentes; Z= número de estratos de altura; p_{ij} = porcentaje de especies en cada zona, y se estima mediante la siguiente ecuación $p_{ij}=n_{i,j}/N$; donde $n_{i,j}$ = número de individuos de la misma especie (i) en la zona (j) y N = número total de individuos.

Finalmente se utilizó el índice de valor de importancia ecológica por taxón (IVI_{rel}) para detectar las especies más importantes en el área de estudio. Para esto se estimaron los parámetros ecológicos de abundancia (A_{Ri}), dominancia (D_{Ri}) y, frecuencia (F_{Ri}) de cada especie (Magurran, 2004).

Para la estimación de la abundancia relativa se empleó la siguiente ecuación:

$$A_i = N_i / S$$

$$AR_i = \frac{A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} * 100$$

$$i = 1 \dots n$$

donde A_i es la abundancia absoluta, A_{Ri} es la abundancia relativa de la especie i respecto a la abundancia total, N_i es el número de individuos de la especie i , y S la superficie de muestreo (ha).

La dominancia relativa se evaluó mediante:

$$D_i = \frac{Ab_i}{S(\text{ha})}$$

$$DR_i = \frac{D_i}{\sum_{i=1}^n D_i} * 100$$

$$i = 1 \dots n$$

donde D_i es la dominancia absoluta, donde DR_i es la dominancia relativa de la especie i respecto a la dominancia total, Ab el área de copa de la especie i y S la superficie muestreada (ha).

La frecuencia relativa se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$F_i = \frac{P_i}{NS}$$

$$FR_i = \frac{F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} * 100$$

$$i = 1 \dots n$$

donde F_i es la frecuencia absoluta, donde FR_i es la frecuencia relativa de la especie i respecto a la frecuencia total, P_i es el número de sitios en la que está presente la especie i y NS el número total de sitios de muestreo.

El índice de valor de importancia (IVI) se definió como:

$$IVI = \frac{AR_i + DR_i + FR_i}{3}$$

Para describir la estructura de la comunidad se generó una gráfica de dominancia-diversidad (Brower *et al.*, 1998), la cual describe la relación del valor de importancia de las especies en función de un arreglo secuencial de especies, de la más a la menos importante (Martella *et al.*, 2012).

4.7 Análisis estadísticos

Para la comparación estadística de los índices de riqueza y diversidad de especies de las comunidades vegetales, se utilizó la prueba de t de Student con la adaptación de Welch para evitar la heterocedasticidad. Los análisis estadísticos y gráficos se realizaron con el uso del programa R v3.0.3 (R Development Core Team, 2011), mediante los paquetes doBy (Robison-Cox y Leidi, 2012), R-sudio v0.98, ggplot2 (Wickham y Chang, 2015) y lattice (Sarkar, 2014).

4.8 Resultados y discusión

El área no restaurada (NRES) no registró regeneración de la comunidad vegetal y, por ende los contrastes de hipótesis se llevaron a cabo para las áreas restaurada y referencia. Este resultado puede deberse a la exposición de la roca madre y la ausencia de material edáfico donde pudieran establecerse plántulas o rebrotes asociados a semillas y propágulos de la vegetación original. La disponibilidad del sitio, de semillas y propágulos, así como la de recursos (como la presencia de suelo) son factores que afectan los patrones de sucesión y regeneración de las comunidades vegetales en un sitio dado (Pikett y McDonnell, 1989).

Para el área restaurada y referencia, se registraron 38 especies, pertenecientes a 36 géneros y 24 familias (Cuadro 5). La familia con mayor número de especies fue *Fabaceae* con 5, su dominancia puede ser explicada por la tolerancia que este grupo presenta ante las condiciones de sequía edáfica características del área de estudio, ya que esta familia (*Fabaceae*) presenta valores más altos en el potencial hídrico del xilema al pre-amanecer y al mediodía, bajo condiciones de falta de agua, respecto a otras especies (Domínguez et al., 2013). Asimismo, su presencia está asociada a una baja disponibilidad de nitrógeno en el suelo, diversos estudios sugieren que las condiciones desfavorables de hábitat propician su establecimiento (Pequeño et al., 2012).

4.8.1 Riqueza y diversidad de especies

La riqueza de especies (S) fue diferente entre el área restaurada y el área de referencia ($t=2.72$; $g.l.=20.55$; $p=0.012$) (Figura 8). El área de referencia mostró la mayor riqueza de especies en comparación con el área restaurada con 8.167 ± 3.433 y 4.750 ± 2.701 respectivamente (Promedio \pm Desvest). El índice Margalef (D_{Mg}), fue distinto para estas dos áreas ($t=3.34$; $g.l.=20.50$; $p=0.003$), siendo mayor en el área referencia (1.78 ± 0.73), en comparación con el área restaurada (0.87 ± 0.58). Así como en nuestro estudio, otros estudios (Mata et al., 2014) han demostrado en que las acciones de restauración activa resultan ser efectivos en términos de recuperación de la riqueza de especies en comparación con las acciones de restauración pasiva.

El Índice de diversidad Shannon-Weiner fue bajo en el área restaurada con relación al área referencia ($t=3.66$; $g.l.=21.89$; $p=0.001$); el área restaurada mostró valores de 0.69 ± 0.54 , mientras que el área referencia 1.54 ± 0.58 . Esta diferencia puede ser explicada debido a la abundancia de la especie *Brickellia veronicifolia*, un gran número de individuos de una sola especie. Con respecto a otros estudios, tanto los valores de diversidad del área restaurada como la referencia mostraron valores de diversidad inferiores a los reportados por Mora et al. (2013) para un MET caracterizado en la región. De manera similar, en un estudio que evaluó la regeneración después de agricultura y matarrasa, Jiménez et al. (2013) observa una mayor diversidad de especies que la reportada en este trabajo. A pesar de esto los valores de diversidad mostraron valores superiores a los reportados por Pequeño et al. (2013) para una zona de regeneración pasiva después de la ganadería.

4.8.2 Distribución vertical

Tanto el área referencia como la restaurada presentaron similitud en su distribución vertical de especies, cuyos valores de $A=2.7$ y 2.0 respectivamente, no arrojaron diferencias estadísticas ($t=0.84$; $g.l.= 21.36$; $p= 0.410$). El área referencia mostró valores promedios de $A 1.70$ y $A_{max} 3.10$, y en el área restaurada se registraron valores de A y A_{max} en 1.5 y 2.50 , respectivamente. Estos valores indican que las comunidades vegetales de las dos áreas presentan poca diversidad en la distribución vertical de especies, mostrando la predominancia de un estrato, en ambos casos es el bajo. En el área referencia, *Acacia rigidula* y *Cordia boissieri*, se encuentran en los tres estratos. Con mayor presencia en el I y

II (alto y medio), y presencia mínima en el estrato III (bajo). Caso contrario a *Lippia graveolens*, la cual tiene mayor presencia en el estrato bajo. Sánchez-Ramos et al. (2011) señala que *L. graveolens* es una especie abundante en el matorral bajo espinoso y matorral alto subinermes. Se trata de una especie con amplio rango de distribución y con gran adaptabilidad debido a su elevada plasticidad, de tolerancia ecológica y de marcadas diferencias incluso estructurales, condicionadas por la heterogeneidad ambiental de los hábitats en los que se establece, observada a través de la variabilidad de los factores externos a los que se expone.

La comunidad vegetal del área referencia presenta una altura máxima de 5.00 m, con presencia de 0.8% de los individuos, mientras que la vegetación del área restaurada alcanza los 2.74 m, con 4.5% de los individuos en el estrato alto. La dominancia de los estratos bajo y medio registrada en el sitio restaurado puede deberse a la densidad de *Brickellia veronicifolia* con 96%, y que esta especie facilita el establecimiento de las especies presentes en los demás niveles (Cuadro 6).

4.8.3 Indicadores ecológicos

La abundancia de los individuos fue diferente entre el área restaurada y el área de referencia ($t=0.44$; $g.l.=21.88$; $p= 0.661$). El primero mostró los valores más altos de abundancia de especies (6867 ± 3723 N/ha), seguido por el área de referencia (6160 ± 4011 N/ha). Esto puede ser explicado a los patrones de abundancia y dominancia característicos de las primeras etapas sucesionales, donde los individuos de pioneros tienen una alta abundancia. La dominancia (cobertura

foliar) presentó similitud estadística entre las dos áreas ($t=0.572$; $g.l.= 14.05$; $p= 0.576$; $AR= 7815 \pm 1621 \text{ m}^2/\text{ha}$ y $SR= 6353 \pm 3723 \text{ m}^2/\text{ha}$).

No existe diferencia estadística en las áreas evaluadas para los parámetros ecológicos de abundancia y dominancia. Debido a la presencia de *Brickellia veronicifolia*, la cual tiene una alta presencia en el área restaurada, presentando altos valores de densidad. Esta especie tiene una densidad alta, pero no presenta una alta cobertura.

La densidad de las dos áreas evaluadas es superior a los reportado por Mora et al. (2013) y Canizales et al. (2009), quienes realizaron caracterizaciones estructurales de comunidades maduras del matorral espinoso tamaulipeco y del matorral submontano, respectivamente. No obstante, la cobertura del área foliar fue menor a los reportado por los autores antes mencionados.

En cuanto a la frecuencia relativa a nivel especie para el área Restaurada, *Brickellia veronicifolia* (Presente en todos los sitios), *Abutilon dugesii*, *Meximalva filipes* y *Senna lindheimeriana* representan un 38% del total para este sitio de muestreo. En el área de Referencia, *Acacia rigidula*, *Leucophyllum frutescens*, *Zanthoxylum fagara*, representan una tercera parte de la presencia de especies para esta área (Cuadro 5).

En el área restaurada, la especie con mayor valor de importancia son *Brickellia veronicifolia* con 59%, seguida por *Abutilon dugesii* y *Senna lindheimeriana* con 4.08% y 3.79%. Características de áreas muy perturbadas. Estos resultados son similares a los registrados por Díaz et al. (2005) en una mina contaminada por

metales pesados en el Estado de Zacatecas. En el área Referencia, las especies con mayor peso ecológico fueron *Acacia rigidula*, *Lippia graveolens* y *Zanthoxylum fagara* con 13.55%, 12.87% y 10.23% (Figura 7). Resultados que corroboran los mencionado por Estrada et al. (2011) y Mora et al. (2013).

La especie *Brickellia veronicifolia* es una planta de la familia Asteraceae, arbustiva, pionera no característica de alguna fase sucesional del MET (Jiménez et al., 2013; Alanís et al., 2013), y ha sido reportada para el estado de Nuevo León en el Matorral Submontano (Estrada-Castillón et al., 2011) y en el matorral xerófilo y bosques de encino del Parque Nacional Cumbre de Monterrey (Estrada-Castillón et al., 2013). Los resultados registrados en esta investigación concuerdan con los reportados por Carrillo y González-Chávez (2006), Hernández-Acosta et al. (2009) y Ortega (2012), quienes registraron esta especie como importante en áreas regeneradas después de actividades mineras. La alta presencia de esta especie se debe a que se desarrolla bien sobre lutita y caliza, resulta pionera en ecosistemas degradados por actividades mineras, debido a sus sistemas de raíces profundas, las cuales pueden establecerse sobre suelos pobres y altamente rocosos. Otra estrategia evolutiva es la gran cantidad de semillas pequeñas con cerdas plumosas, estas últimas características de diásporas con dispersión pogonócora (Martínez, et al., 2012), que les confiere una alta eficiencia a la dispersión en largas distancias (Cain et al., 2012). Asimismo, *Brickellia veronicifolia* pierde la parte aérea en los períodos críticos del año (hemcriptófito), lo que les permite adaptarse a las condiciones de carencia de agua y también escapar de factores que ponen en peligro su supervivencia en estos hábitat

(Franco, 2005). Carrillo y González-Chávez (2006) determinaron que es una especie que acumula altas concentraciones de cadmio, plomo, zinc y cobre, por lo tanto tolera áreas contaminadas con estos elementos característicos de zonas de explotación minera, y altamente nocivos para otras plantas por no poder inmovilizarlos, y por ende interferir en las funciones fotosintéticas (Sheoran y Singh 1993, Kastori et al., 1989) y absorción de nutrientes (Woolhouse, 1983), y así en su crecimiento y supervivencia.

Díaz et al. (2005), señalan que la familia Asteraceae tiende a establecer asociaciones (especies herbáceas, arbustivas considerando leguminosas, entre otras) para ayudar a restablecer la fertilidad del suelo y acelerar la sucesión ecológica, lo cual se muestra en el presente trabajo con la representatividad registrada en el área Restaurada. Estrada et al. (2011) mencionan que la asociación que existe entre las especies en el área Referencia es de porte bajo y mediano, entre 1 y ≤ 2.5 m de altura, común para el MET distribuidos principalmente en la parte centro-norte del estado.

4.9 Conclusiones

Con los resultados de la presente investigación se concluye que 1) la restauración activa en áreas sujetas a explotación de material calizo mediante la técnica de voladuras, con el depósito de material rocoso y edáfico, y su exclusión de actividades productivas, generan condiciones favorables para el establecimiento de comunidades vegetales que favorecen la regeneración del MET. 2) La familia con mayor presencia en el área Restaurada fue Fabaceae, debido a la tolerancia

que este grupo presenta ante las condiciones de sequía edáfica, a sus valores altos en el potencial hídrico del xilema y a que se desarrolla en suelos con baja disponibilidad de nitrógeno. 3) El índice de Prestzch confirma la existencia de dos estratos en las comunidades vegetales, la cobertura de las especies que se están regenerando y de las especies vegetales maduras. 4) La especie *Brickellia veronicifolia* de la familia Asteraceae es la de mayor representatividad en el área restaurada, y por su alta tolerancia a la presencia de metales pesados, puede ser utilizada en la restauración de zonas sometidas a la explotación minera.

La presente investigación proporcionó información cuantitativa sobre la restauración pasiva en un área post-minería a cielo abierto en el MET, generando información fitosociológica de la comunidad vegetal y elementos cuantitativos que servirán de base para futuros programas de manejo, restauración y rehabilitación del ecosistema.

4.10 Literatura citada

Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2009. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). 100 pp.

Alanís, E., J. Jiménez, A. González, I. Yerana, L. G. Cuellar y A. Mora. 2013. Análisis de la vegetación secundaria del matorral espinoso tamaulipeco, México. *Phyton International Journal of Experimental Botany*, 82: 185-191.

Alvarez, R. y S. Medellín. 2002. Programa de Manejo de la Zona Sujeta a Conservación Ecológica "Cerro Picachos", 1: 1-78.

- Batty, L. C. 2005. The potential importance of mine sites for biodiversity. *Mine water and the Environment*, 24(2): 101-103.
- Biswas, C. K., P. Mishra y A. Mukherjee. 2013. Floral diversity in sites deranged by opencast mining in Sonepur Bazari of Raniganj coalfield area, West Bengal. *Indian J. Applied & Pure Bio.* Vol, 28(2): 265-273.
- Boyer, S. y D. Wratten. 2010. The potential of earthworms to restore ecosystem services after opencast mining—A review. *Basic and Applied Ecology*, 11(3): 196-203.
- Brower, J. E., J.H. Zar, y C. N. Von Ende. 1998. *General Ecology*. McGraw-Hill. Estados Unidos. 273 pp.
- Cain, M.L., B. Milligan y A. Strand. 2000. Long-distance seed dispersal in plant populations. *American Journal of Botany*. 87:1217-1227.
- Canizales, P.A., E. Alanís, R. Aranda, M. Mata, J. Jiménez, G. Alanís, J. Uvalle, y M. Ruiz. 2009. Caracterización estructural del matorral submontano de la sierra madre oriental, Nuevo León, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 15(2): 115-120.
- Carrillo, R. y C. M. González. 2006. Metal accumulation in wild plants surrounding mining wastes. *Environmental Pollution*, 144(1): 84-92.
- Corral, J., O. Aguirre, J. Jiménez, y S. Corral, 2005. Un análisis del efecto del aprovechamiento forestal sobre la diversidad estructural en el Bosque Mesófilo de Montaña 'El Cielo', Tamaulipas, México. *Investigaciones Agrarias: Sistema de Recursos Forestales*, 14(2): 217-228.

Cuevas, P. 2010. Importancia de la resiliencia biológica como posible indicador del estado de conservación de los ecosistemas: implicaciones en los planes de manejo y conservación de la biodiversidad. *Biológicas*, 12: 1-7.

David, H., J. Rosales y P. Ouboter. 2013. Gestión del impacto de la explotación minera a cielo abierto sobre el agua dulce en América Latina. Banco Interamericano de Desarrollo Unidad de Salvaguardias Ambientales Nota técnica # IDB-TN-520. 40 pp.

Díaz, G. L. M., O. A. Díaz, G. R. Carrillo y C. M. González. 2005. Plantas que se desarrollan en áreas contaminadas con residuos mineros. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 161 pp.

Doak, D. F., D. Bigger, E. K. Harding, M. A. Marvier, R. E. O'Malley y D. Thomson. 1998. The statistical inevitability of stability-diversity relationships in community ecology. *American naturalist*. Volumen 151, Issue 3: 264-276.

Domínguez, G. T., H. González, R. Ramírez, E. Estrada, I. Cantú, M. Gómez, J. Villarreal, S. Alvarado y G. Alanís. 2013. Diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco durante las épocas seca y húmeda. *Revista mexicana de ciencias forestales*. Vol. 4, 17: 106–123.

Del Río, M., F. Montes, I. Cañellas, y G. Montero, 2003. Índices de diversidad estructural en masas forestales. *Investigaciones Agrarias: Sistema de Recursos Forestales* 12(1): 159-176.

Estrada, C. E., J. Villareal, E. Jurado, C. Cantú, M. García, J. Sánchez, J. Jiménez y M. Pando. 2011. Clasificación, estructura y diversidad del matorral sub-montano

- adyacente a la planicie costera del Golfo Norte en el Noreste de México. *Botanical Science*, 90(1):37-52.
- Estrada, C. E., J. Villarreal, M. Salinas, H. Rodríguez, J. Jiménez y M. García. 2013. Flora and phytogeography of Cumbres de Monterrey National Park, Nuevo León, México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, 7(2):771-801.
- Franco, I. M. G. 2005. Estrategias de colonización de las plantas, para la restauración de jales de mina, en la sierra de Catorce, SLP. Universidad Autónoma de Chapingo. Maestría en Ciencias Forestales. Artículos 2005, 1-19 pp.
- Hernández, A. E., R. E. Mondragón, D. Cristobal, J. E. Rubiños y E. Robledo. 2009. Vegetación, residuos de mina y elementos potencialmente tóxicos de un jal de Pachuca, Hidalgo, México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 15(2): 109-114.
- Hough-Snee, N., B. B. Roper, J. M. Wheaton, P. Budy y R. L. Lokteff. 2013. Riparian vegetation communities change rapidly following passive restoration at a northern Utah stream. *Ecological Engineering*, 58: 371-377.
- Jiménez, J., E. Alanís, O. A. Aguirre, M. Pando y M. A. González. 2009. Análisis sobre el efecto del uso del suelo en la diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco. *Madera bosques vol.15 no.3*.
- Jiménez, J., O. Aguirre, y H. Kramer, 2001. Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino-encino en el norte de México. *Investigaciones Agrarias: Sistema de Recursos Forestales*, 10(2): 355-366.

- Jiménez, P.J.; E. Alanís, Ó. Aguirre, M. Pando y M. González, 2009. Análisis sobre el efecto del uso del suelo en la diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco. *Madera y Bosques*, 15(3): 5-20.
- Jiménez, J., E. Alanís, M. A. González, O. A. Aguirre y E. J. Treviño. 2013. Characterizing woody species regeneration in areas with different land history tenure in the tamaulipan thornscrub, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 58(3):299–304.
- Jiménez, J., E. Alanís, J. L. Ruiz, M. A. González, J. I. Yerena y G. Alanís. 2012. Diversidad de la regeneración leñosa del matorral espinoso tamaulipeco con historial agrícola en el NE de México. *Ciencia UANL*, 15(2): 66-71.
- Jorba, M. y R. Vallejo. 2006. La restauración ecológica en minería: El proyecto EcoQuarry. *Canteras*, 891: 16-23.
- Jorba, M. y R. Vallejo. 2008. La restauración ecológica de canteras: un caso con aplicación de enmiendas orgánicas y riesgos. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 17(3): 119-132.
- Kastori, R. M. Plesnicár, Z. Sakae, D. Pankovic y I. Arsenijevic-Maksimovic. 1998. Effect of excess lead on sunflower growth and photosynthesis. *J. Plan. Nutr.* 21: 75-85
- Keenelyside, K., N. Dudley, S. Cairns, C. Hall y S. Stolton. 2012. Ecological restoration for protected areas: principles, guidelines and best practices. IUCN. Vol. 18.
- Lira, C., C. Payan, I. Restrepo y L. Angulo. 2013. La jornada ecológica, el auge de la minería... Nos enseña el cobre. Número especial.
- Li, J., Y. Zheng, J. Yan, H. Li, X. Wang, J. He y G. Ding. 2013. Effects of Different Regeneration Scenarios and Fertilizer Treatments on Soil Microbial Ecology in

- Reclaimed Opencast Mining Areas on the Loess Plateau, China. PloS one, 8(5), e63275.
- López, M. A., R. Valdivia, J. L. Romo, M. Sandoval y B. S. Larqué. 2010. Valoración económica de una mina de arena. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, 28(3): 255-263.
- López, F. y M. M. Eslava. 2011. El mineral o la vida. La legislación minera en México. Pez en el árbol editorial. 80 pp.
- Meuser, H. 2012. Rehabilitation of soil in mining and raw material extraction areas. Soil remediation and rehabilitation, environmental pollution. Volume 23, pp 37 – 126.
- Mata, M., E. J. Treviño, J. Jimenez, O. A. Aguirre, E. Alanís y R. Foroughbakhch. 2014. Prácticas de rehabilitación en un ecosistema semiárido afectado por el establecimiento de un banco de material, en el noreste de México. Ciencia UAT. En prensa.
- Martella, M., E. Trumper, L. Bellis, D. Renison, P. Giordano, G. Bazzano y R. Gleiser. 2012. Manual de Ecología: Evaluación de la biodiversidad. Reduca (Biología). Serie Ecología, 5(1):71-115.
- Martínez, D. D., J. Jiménez, E. Alanís, J. I. Uvalle, P. Canizales y L. Rocha. 2014. Regeneración natural del matorral espinoso tamaulipeco bajo una plantación de Eucalyptus spp. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 21(5): 94-107.
- Martínez, F., J., J. García y P. Castillo. 2014. Estructura y composición de la vegetación del bosque de niebla de copalillos, San Luis Potosí, México. Acta Botánica Mexicana 106: 161 - 186.

- Martínez, O. Y., S. Castillo, M. Hernández, M. Guadarrama y A. Orozco. 2012. Seed rain after fire in a xerophytic shrubland. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83: 447-457.
- Magurran, A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell, Cambridge, Massachusetts. 256 pp.
- Mora, C.A., J. Jiménez, E. Alanís, E. Rubio, I. Yerena, M. A. González. 2013. Efecto de la ganadería en la composición y diversidad arbórea y arbustiva del matorral espinoso tamaulipeco. *Revista Mexicana Ciencias Forestales*. 17(4): 124-137.
- Mora, C.A., E. A. Rubio, E. Alanís, J. Jiménez, M. A. González y J. M. Mata. 2013. Composición y diversidad vegetal de un área de Matorral Desértico Micrófilo con historia pecuario en el Noreste de México. *Revista Polibotánica*, 38: 127-140.
- Mora, C.A., E. Alanís, J. Jiménez, M. A. González, J. I. Yerena, y L. G. Cuellar. 2013. Estructura, composición florística y diversidad del matorral espinoso tamaulipeco, México. *Ecología Aplicada* 12(1):29-34.
- Ortega, N. B. 2012. Asociación entre la fracción bioaccesible y la bioacumulación en algunas especies vegetales que crecen en el cauce del arroyo de San Pedro. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 182 pp.
- Panorama Minero del estado de Nuevo León, 2011. Servicio geológico mexicano. Coordinación general de minería. 57 pp.
- Pequeño, L. M.; E. Alanís, J. Jiménez, M. A. González, I. Yerena, L. G. Cuellar y A. Mora. 2012. Análisis de la restauración pasiva post-pecuaria en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste de México. *Ciencia UAT*, 24(2): 48-53.

Pikett S.T.A. y M.J. McDonnell. 1989. Changing perspectives in community dynamics: a theory of successional forces. *Trends in Ecology and Evolution*.

Pretzsch, H. 2009. *Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model*. Springer-Verlag Berlín. Heidelberg, Alemania. 664 pp.

R Development Core Team (2011). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.r-project.org/>.

Robinson-Cox y A. A. Leidi. 2012. Groupwise summary statistics, general linear contrasts, population means (Least-squaresmeans), and other utilities. R package version 4.5-5.

Sanchez, R. G., F. Quezada., M. Lara., L. Perez., Environmental parameters and abundance of mexicano regano (*Lippia graveolens*) in the Tamaulipas State. *Revista Ciencia UAT. Intranet y Colaboración UAT*.

Šálek, M. 2012. Spontaneous succession on opencast mining sites: implications for bird biodiversity. *Journal of Applied Ecology*, 49(6): 1417-1425.

Society for ecological restoration (SER) International, 2004. Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas.

Sheoran I.S. y R. Singh 1993. Effect of heavy metal on photosynthesis in higher plants. In: *Photosynthesis: Photoreactions to plant productivity*. Abrol Y.P., P.Monhanty y Govindjee (Eds). Kluwer. Berlín. Pp 451-368.

Van Andel, J. y J. Aronson. 2012. *Getting started, in restoration ecology: The new frontier*, second edition (eds J. van Andel and J. Aronson), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. doi: 10.1002/9781118223130.ch1.

Virah-Sawmy, M., J. Ebeling y R. Taplin. 2014. Mining and biodiversity offsets: A transparent and science-based approach to measure “no-net-loss”. *Journal of Environmental Management*, 143: 61-70.

Wickham, H. y W. Chang. 2015. *ggplot2: An implementation of the Grammar of Graphics*.
Obtenido de: [Http://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/index.html](http://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/index.html)

Woolhouse H.W. 1983. Toxicity and tolerance in the responses of plants to metals. In: *Physiological plant ecology III. Encyclopedia of plant Physiology*. O.L. Lange, P.s. Nobel, C.B. Osmond y H. Ziegler. (Eds.). Springer. Berlín. Pp 245-300.

Zahawi, R. A., J. L. Reid y K. D. Holl. 2014. Hidden Costs of Passive Restoration. *Restoration Ecology*, 22(3): 284-287.

Zhao, Z., Z. Bai, Z. Zhang, D. Guo, J. Li, Z. Xu y Z. Pan. 2012. Population structure and spatial distributions patterns of 17 years old plantation in a reclaimed spoil of Pingshuo opencast mine, China. *Ecological Engineering*, 44: 147-151.

Cuadro 5. Familia, nombre científico y forma de crecimiento. Abundancia absoluta (Número por hectárea), Dominancia (metros cuadrados por hectárea), Frecuencia absoluta (Repeticiones por sitio de muestreo) e Índice de valor de importancia (IVI, porcentaje) para los 3 sitios evaluados en el MET.

Familia y Nombre Científico	Forma de Crecimiento	Área Restaurada							Área Referencia							
		Abundancia		Dominancia		Frecuencia			Abundancia		Dominancia		Frecuencia			IVI
		N/ha	Ar	m ² /ha	Dr	Abs.	Rel.	IVI	N/ha	Ar	m ² /ha	Dr	Abs.	Rel.	IVI	
Asparagaceae																
<i>Yucca filifera Chabaud</i>	Arbórea	17	0.24	0.64	0.01	17	3.51	1.25	17	0.27	25.66	0.33	17	2.04	0.88	
Asteraceae																
<i>Brickellia veronicifolia (Kunth) Gray.</i>	Arbustiva	4550	66.26	5733.81	90.26	100	21.05	59.19	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Eupatorium odoratum L.</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	67	1.08	0.95	0.01	8	1.02	0.71	
<i>Haploesthes greggii A. Gray</i>	Arbustiva	133	1.94	9.82	0.15	25	5.26	2.45	-	-	-	-	-	-	-	
Boraginaceae																
<i>Cordia boissieri A. DC.</i>	Arbórea	33	0.49	25.74	0.41	17	3.51	1.47	167	2.70	1058.17	13.53	58	7.14	7.79	
Caesalpinieae																
<i>Cercidium macrum I.M.Johnst.</i>	Arbórea	-	-	-	-	-	-	-	33	0.54	106.23	1.36	17	2.04	1.31	
Compositae																
<i>Parthenium incanum Kunth</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	167	2.70	100.37	1.28	25	3.06	2.35	
Ebenaceae																
<i>Diospyros texana Scheele</i>	Arbórea	-	-	-	-	-	-	-	158	2.57	406.41	5.20	8	1.02	2.93	
Fabaceae																
<i>Acacia berlandieri Bent.</i>	Arbustiva	25	0.36	18.41	0.29	8	1.75	0.8	417	6.77	1120.01	14.32	33	4.08	8.39	
<i>Acacia farnesiana L.) Willd.</i>	Arbustiva	108	1.58	20.66	0.33	25	5.26	2.39	17	0.27	121.77	1.56	17	2.04	1.29	
<i>Acacia rigidula Bent.</i>	Arbustiva	17	0.24	20.58	0.32	17	3.51	1.36	558	9.05	1592.13	20.36	92	11.12	13.55	
<i>Havardia pallens (Benth.) Britton & Rose.</i>	Arbórea	17	0.24	18.93	0.30	8	1.75	0.77	17	0.27	9.90	0.13	8	1.02	0.47	
<i>Senna lindheimeriana (Scheele) Irwin & Barneby</i>	Arbustiva	267	3.88	141.93	2.22	25	5.26	3.79	-	-	-	-	-	-	-	
Leguminosae																
<i>Prosopis glandulosa Torr.</i>	Arbórea	-	-	-	-	-	-	-	8	0.14	121.02	1.55	8	1.02	0.90	
<i>Sophora secundiflora (Ortega) DC.</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	150	2.44	155.80	1.99	25	3.06	2.50	

Loasaceae																
<i>Cevallia sinuata</i> Lag.	Arbustiva	317	4.61	24.14	0.38	17	3.51	2.83	58	0.95	7.17	0.09	17	2.04	1.03	
Malvaceae																
<i>Abutilon dugesii</i> S. Watso.	Arbustiva	142	2.06	88.84	1.39	42	8.77	4.08	75	1.22	28.86	0.37	33	4.08	1.89	
<i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Garcke	Herbácea	8	0.12	0.59	0.01	8	1.75	0.63	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Meximalva filipes</i> (A. Gray) Fryx.	Arbustiva	67	0.97	25.58	0.40	42	8.77	3.38	33	0.54	7.92	0.10	8	1.02	0.55	
Oleaceae																
<i>Forestiera angustifolia</i> Torr.	Arbórea	-	-	-	-	-	-	-	17	0.27	8.38	0.11	17	2.04	0.81	
Passifloraceae																
<i>Turnera diffusa</i> Willd. ex Schult.	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	142	2.3	15.65	0.20	8	1.02	1.17	
Poaceae																
<i>Aristida adscencionis</i> L.	Herbácea	383	5.58	19.09	0.30	8	1.75	2.55	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Aristida divaricata</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Herbácea	17	0.24	1.84	0.03	8	1.75	0.68	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka	Herbácea	358	5.22	44.67	0.70	8	1.75	2.56	-	-	-	-	-	-	-	
Primulaceae																
<i>Anagallis arvensis</i> L.	Herbácea	8	0.12	0.05	0.00	8	1.75	0.63	-	-	-	-	-	-	-	
Rhamnaceae																
<i>Condalia hookeri</i> M.C.Johnst.	Arbórea	-	-	-	-	-	-	-	175	2.84	2.89	0.04	25	3.06	1.98	
<i>Karwinskia humboldtiana</i> (Schult.) Zucc.	Arbustiva	83	1.21	45.17	0.71	17	3.51	1.81	492	7.98	177.09	2.26	50	6.12	5.46	
Rubiaceae																
<i>Randia laetevirens</i> Standl.	Arbórea	-	-	-	-	-	-	-	25	0.41	25.18	0.32	25	3.06	1.26	
Rutaceae																
<i>Decatropis bicolor</i> (Zucc.) Radlk.	Arbórea	-	-	-	-	-	-	-	317	5.14	169.28	2.16	33	4.08	3.78	
<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	Arbórea	-	-	-	-	-	-	-	383	6.22	1195.9	15.29	75	9.18	10.23	
Sapindaceae																
<i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq.	Arbustiva	150	2.18	92.08	1.45	8	1.75	1.8	-	-	-	-	-	-	-	
Sapotaceae																
<i>Sideroxylon lanuginosum</i> Michx.	Arbórea	-	-	-	-	-	-	-	167	2.71	546.57	6.99	33	4.08	4.59	
Scrophulariaceae																
<i>Leucophyllum frutescens</i> (Berland.) I.M.	Arbustiva	25	0.36	9.58	0.15	17	3.51	1.34	608	9.88	411.61	5.26	75	9.18	8.11	
Solanaceae																
<i>Lycium berlandieri</i> Dunal	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	17	0.27	25.66	0.33	17	2.04	0.88	

Sterculiaceae															
<i>Waltheria americana</i> L.	Arbustiva	100	1.46	4.93	0.08	25	5.26	2.27	-	-	-	-	-	-	-
Verbenaceae															
<i>Aloysia macrostachya</i> (Torr.) Moldenke	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	92	1.49	9.75	0.12	17	2.04	1.22
<i>Lippia graveolens</i> Kunth	Arbustiva	42	0.61	6.66	0.10	25	5.26	1.99	1750	28.42	317.51	4.06	50	6.12	12.87
Zygophyllaceae															
<i>Portieria angustifolia</i> (Engelm.) A. Gray	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	33	0.54	51.31	0.66	17	2.04	1.08

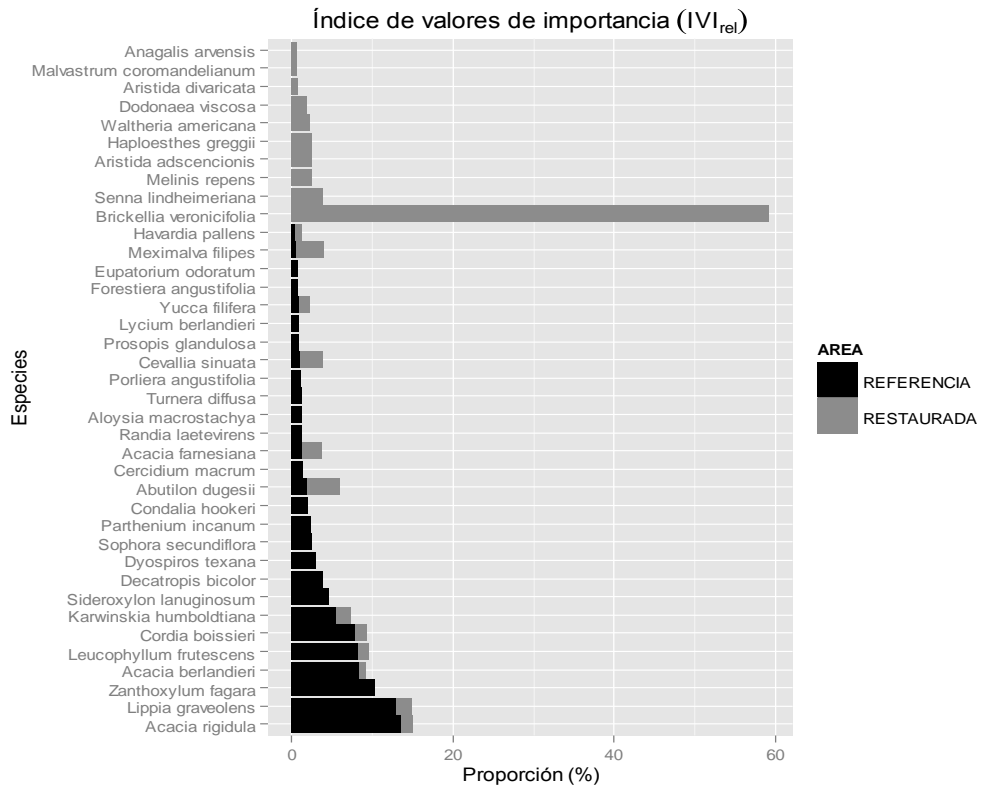


Figura 7. Índice de valor de importancia de las especies en las áreas (Referencia y Restaurada) de estudio.

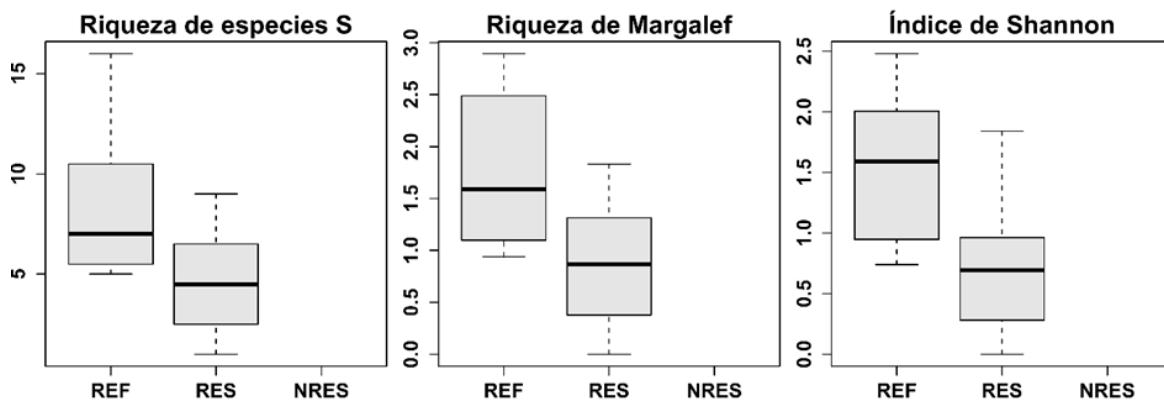


Figura 8. (Izquierda) Riqueza de especies, (centro) Índice de Margalef, (derecha) e Índice de Shannon de las áreas (Referencia, Restaurada y No Restaurada) de estudio.

Cuadro 6. Distribución vertical (Prestzch) de las especies en las áreas (Referencia y Restaurada) de estudio.

Índice de Prestzch

Zona Referencia

Estrato	Altura (Porcentaje)	Individuos (Total)	Porcentaje (%)
I	5 mts (100%)	6	0.8
II	4 mts. (80%)	62	8.4
III	2.5 mts. (50%)	672	90.8
Total		740	100

Zona Restaurada

Estrato	Altura (Porcentaje)	Individuos (Total)	Porcentaje (%)
I	2.74 mts. (100%)	37	4.5
II	2.19 mts. (80%)	177	21.5
III	1.37 mts. (50%)	610	74.0
Total		824	100

CAPITULO V



Equipo de trabajo; Personal de Gestión Estratégica y Manejo Ambiental S.C. (GEMA, S.C.) y de la Facultad de Ciencias Forestales de la U.A.N.L. Minera Mitramar S.A. de C.V.
Foto: Jonathan Marroquín, 2013

5. Consideraciones finales

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, nos es posible responder de manera cuantitativa y cualitativa a las interrogantes planteadas en el estudio. Referente a si la restauración pasiva (mediante el acomodo del material edáfico y rocoso) es viable en áreas mineras que fueron sometidas a voladoras a cielo abierto para la obtención del recurso ¿Es esta recomendable en ecosistemas áridos del Matorral Espinoso Tamaulipeco? Encontramos que si es una práctica recomendable, los resultados nos dicen que la cobertura arbórea para el área de estudio es de un 63%, casi una tercera parte del total del área. La especie *B. veronicifolia* representa una densidad del 90%. Los

resultados concuerdan con los reportados por Carrillo y González-Chávez (2006), Hernández-Acosta et al. (2009) y Ortega (2012), quienes registraron esta especie como importante en áreas regeneradas después de actividades mineras. A pesar de las adversidades ambientales y de las condiciones edáficas, carentes por completo de suelo, la especie antes mencionada pudo establecerse gracias a sus características morfológicas las cuales le permiten establecerse fácilmente sobre lutita y caliza. Tras la descomposición de la roca madre, más la deposición de materia orgánica de la especie *B. veronicifolia*, ha sido factor para la formación de suelo, el cual tras siete años de regeneración pasiva, han permitido el establecimiento de las especies características y estructuralmente importantes del MET en condiciones prístinas, tanto del estrato arbustivo-arbóreo alto como arbustivo medio (García y Jurado, 2008). No obstante en cuestiones de biodiversidad, los resultados nos indican que tenemos poca diversidad de especies.

Con respecto a la pregunta ¿Se espera encontrar diferencias en la composición y diversidad de especies, respecto de un área referencia a un área con restauración pasiva? Mediante los resultados obtenidos para la abundancia (Densidad) y dominancia (Cobertura de copa) se comprueba que no existe diferencia, la cobertura brindada por la especie *B. veronicifolia*, aunado a la alta densidad de esta especie, representa similitud a la registrada para el área referencia.

Por otro lado, la composición y diversidad de especies difiere entre las dos áreas evaluadas. La presencia de la *B. veronicifolia* ha dado las condiciones para la regeneración de las especies típicas del MET, pero no al grado de ser igual a la de

un área sin disturbio. La riqueza y diversidad en la comunidad con base en la distribución de los individuos, así como la biodiversidad específica, son superiores en el área referencia.

Uno de los aspectos positivos y relevantes de los resultados obtenidos en la presente investigación, fue la condición visual/estético presente en el Área Restaurada, la cobertura de la copa arbórea (representa un 69% del total del área) genera escenarios positivos para el desarrollo de este ecosistema, minimizando el disturbio ocasionado por las voladuras, la cobertura favoreció un microclima en el cual se observó y documento la presencia de fauna silvestre, además de especies vegetales pioneras del MET. Agregando el valor de captura de carbono por la especie *B. veronicifolia*, dato que puede ser cuantificable de manera rápida y segura, el cual estaría aportando más información científica.

La alteración de un ecosistema natural puede ser restaurada o asimilada de manera autónoma por el mismo, la pérdida de cubierta vegetal ocasionada por la expansión demográfica y los aprovechamientos de recursos renovables ha sido escasamente evaluada y raramente documentada, aun y cuando existen artículos, como lo son el 68, 69 y 70 de la ley de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR), en el cual se señala que la prevención de los daños ambientales ocasionados son mera responsabilidad de los propietarios y los causantes del proceso que resulto en una afectación deben remediar y tomar acciones para contrarrestar el daño.

Por esta razón en la presente investigación se propuso la rehabilitación de un área afectada por el aprovechamiento de roca caliza, en una cantera propiedad de Matrimar S.A. de C.V., ubicada en el municipio de Cerralvo, Nuevo León. En el cual se propuso realizar deposición del material rocoso y edáfico, así como excluirlo de toda actividad.

Con los resultados obtenidos se observó que las actividades realizadas favorecen la rehabilitación del ecosistema (MET), posterior a un disturbio por aprovechamiento de a cielo abierto de materiales. En donde a los siete años de establecida esta zona, podemos confirmar que la especie de la familia Asteraceae, propicia condiciones óptimas para la protección del suelo y la formación de un microambiente para el establecimiento de las especies primarias en la sucesión, como lo es la familia Fabaceae.

Analizando lo antes mostrado podemos concluir que las actividades implementadas en la presente investigación asistieron el restablecimiento de los factores básicos de la comunidad vegetal (estructura, función y composición), estos proveedores de los servicios ambientales como hábitat, alimento, cobertura, protección, retención de suelo, entre otras, los cuales principiaron la remediación del área.

5.1 Recomendaciones

A partir de estas conclusiones, se plantean opciones para las prácticas de restauración de zonas mineras, encaminadas a restaurar los espacios naturales con alto nivel de disturbio ecológico.

De manera resumida se plantea lo siguiente:

- ∴ El acondicionamiento del relieve, mediante las prácticas de curvas de nivel, con una pendiente $\leq 90^\circ$, aunado a la deposición del material rocoso y edáfico, excluyéndolo de toda actividad, favorece la restauración.
- ∴ El acomodo del sustrato, siendo este suelo en granulometrías ≥ 20 mm. Es parte esencial, ya que aunado a la materia orgánica que se deposita mediante el viento y excretas de la fauna silvestre van formando suelo y con esto condiciones adecuadas para el establecimiento de especies pioneras en el MET.
- ∴ La revegetación en este tipo de ecosistemas, mediante la hidrosiembra suele no ser viable, ya que se carece de estudios sobre semillas de especies pioneras para la restauración en este tipo de ecosistemas.
- ∴ La especie *Brickellia veronicifolia*, además de otras especies identificadas en restauración de zonas mineras del centro de México como *Sida rhombifolia* L., *Melampodium divaricatum* DC., *Sporobolus indicus* (L.), *Sanvitalia procumbens* Lam., *Zinnia acerosa* Gray., entre otras. Quedan para posibles estudios morfológicos/fisiológicos debido a sus condiciones para sobrevivir bajo condiciones extremas.

- ∴ El Matorral Espinoso Tamaulipeco, es un ecosistema altamente resiliente, ya demostrado en estudios anteriores bajo disturbios agrícolas, ganaderos, silvícolas, este suele recuperarse a partir de excluirlo de toda actividad.
- ∴ Necesario es continuar con investigaciones más detalladas en relación a la capacidad que tienen las especies que se encontraron en el sitio para conocer su potencial para ayudar a restablecer la fertilidad del suelo y acelerar la sucesión ecológica.

La presente investigación proporcionó información cuantitativa sobre la restauración pasiva en un área post-minería a cielo abierto en el MET, generando información fitosociológica de la comunidad vegetal y elementos cuantitativos que servirán de base para futuros programas de manejo, restauración y rehabilitación del ecosistema.

Figura 9.

***Brickellia veronicifolia* (Kunth) Gray**



5.2 Literatura citada

Carrillo, R. y C. M. González. 2006. Metal accumulation in wild plants surrounding mining wastes. *Environmental Pollution*, 144(1): 84-92.

García J. y E. Jurado. 2008. "Caracterización del matorral con condiciones prístinas en Linares N. L., México". *Ra Ximhai*, 4(1) 1-21.

Hernández, A. E., R. E. Mondragón, D. Cristobal, J. E. Rubiños y E. Robledo. 2009. Vegetación, residuos de mina y elementos potencialmente tóxicos de un jal de Pachuca, Hidalgo, México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 15(2): 109-114.

Ortega, N. B. 2012. Asociación entre la fracción bioaccesible y la bioacumulación en algunas especies vegetales que crecen en el cauce del arroyo de San Pedro. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 182 pp.

6. Acerca de Autor



El Ing. Jonathan Jesús Marroquín Castillo, candidato a obtener el grado de Maestro en Ciencias Forestales, nació en Linares, Nuevo León, el 01 de Enero de 1989, donde cursó estudios hasta nivel licenciatura en la Universidad Autónoma de Nuevo León (U A N L), cuya carrera de “Ingeniero Forestal” concluyó en 2011. Su experiencia profesional comienza antes de concluir los estudios de licenciatura, en la consultoría ambiental: Sistemas de Innovación y Desarrollo

Ambiental (SIDEA), en actividades relacionadas a los Estudios Técnicos Justificativos (ETJ) en cuanto a cambios de uso de suelo, así como a los Estudios de Medición de Impacto Ambiental (MIA), para el 2011 se incorpora a Tecnología, Investigación y Supervisión de Carreteras y Asfaltos, S.A. de C.V. (TECA), desarrollando actividades de investigación en el diseño de mezclas asfálticas y evaluaciones de tramos carreteros. Además, como parte de su crecimiento académico, fue parte de la International Forestry Student’s Association (IFSA), en la cual fungió cargo como Coordinador regional, Representando América de Latina. Además de representar a México en los congresos internacionales que esta organiza. También formó parte de la Asociación Latinoamericana de Estudiantes de Ciencias Forestales (ALECIF), siendo Directivo, además de representante de México. Para inicios del 2015, fue electo como estudiante de posgrado, en el selecto grupo de evaluadores por parte de la Agencia Alemana: German Accreditation Agency for Degree Programmes in Engineering, Informatics, Natural Sciences and Mathematics (ASIIN. e.V.).

Contacto: jjmarroquincastillo@gmail.com