

# Efecto de una obra de conservación de suelo en el patrón de distribución de la vegetación y funcionalidad del ecosistema

Pattern of distribution of vegetation and functionality of the ecosystem after a soil conservation action

Omar A. Doria Treviño

Dinorah O. Mendoza Aguilar

Maritza Gutiérrez Gutiérrez

Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales.

Marisela Pando-Moreno\*

Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales.

Cuerpo Académico Consolidado: Ecosistemas Terrestres.

\*Autor para correspondencia: mpando55@hotmail.com

## Resumen

En este trabajo se analiza si las obras de conservación de suelo y reforestación realizadas hace tres años en el área de estudio se ven reflejadas en una mejor funcionalidad del paisaje. La funcionalidad del paisaje se evaluará utilizando parcialmente el método conocido como Landscape Function Analysis (LFA) bajo el precepto de que un paisaje es funcional cuando es capaz de retener sus recursos (suelo, agua, nutrientes) sin importar las redistribuciones internas. El ejido "Las Barretas", donde se realizó esta investigación, se localiza a 12 km al este de la cabecera municipal de Linares, Nuevo León. Se establecieron 130 transectos para obtener porcentaje de cobertura total y frecuencia relativa de cada tipo de cobertura. Asimismo, se evaluaron los atributos que contribuyen a interrumpir, desviar o absorber la escorrentía superficial y los materiales transportados. Para ello, se midió el largo y ancho de los parches vegetados y la longitud de los interparches sin vegetación. Se registró más suelo desnudo (61%) y más presencia de roca (27%) en el área testigo que en el área con obras de conservación de suelo. Las coberturas de herbáceas y pastos fueron ligeramente mayores en el área con obras de conservación que en el testigo. El largo y el ancho medio de los parches son significativamente mayores en el área testigo, sin embargo también es mayor el largo medio del interparche lo que significa una mayor superficie de suelo desnudo expuesta a riesgo de erosión. El área con obras de conservación tiene parches más pequeños pero más continuos, lo anterior queda evidenciado por el mayor Índice de Suelo Desnudo que resultó en el área sin obras de conservación. La cobertura a nivel de suelo (herbáceas, hojarasca, pastos) parece ir incrementándose en las áreas donde se realizaron obras de conservación de suelo.

**Palabras clave:** Interparche, matorral espinoso tamaulipeco, parche, semiárido.

## Abstract

This work analyzes whether the soil conservation and reforestation actions carried out three years ago in the study area are reflected in a better functionality of the landscape. The functionality of the landscape will be evaluated partially using the method known as Landscape Function Analysis (LFA) under the precept that a landscape is functional when it is able to retain its resources (soil, water, nutrients) regardless of internal redistributions. The "Las Barretas" ejido, where this research was carried out, is located 12 km east of the city of Linares, Nuevo León. One hundred and thirty transects were established to obtain the percentage of total coverage and relative frequency of each type of coverage. Likewise, the attributes that contribute to interrupting, diverting or absorbing surface runoff and transported materials were evaluated. To achieve this, the length and width of the vegetated patches and the length of the interpatches without vegetation were measured. More bare soil (61%) and more rock presence (27%) were recorded in the control area than in the area with soil conservation works. Herbaceous and pasture covers were slightly higher in the area with conservation actions than in the control. The average length and width of the patches are significantly greater in the control area, however the average length of the interpatches is also greater, which means a greater surface of bare soil exposed to risk of erosion. The area with soil conservation actions has smaller but more continuous patches, the foregoing is evidenced by the higher Bare Soil Index that resulted in the area without conservation works. The coverage at ground level (herbaceous, litter, pasture) seems to be increasing in the areas where soil conservation actions were carried out.

**Keywords:** Interpatch, patch, semiarid, tamaulipan thorny scrub.

## Introducción

Los ecosistemas áridos y semiáridos exhiben, típicamente, un patrón espacial de vegetación donde las plantas están agrupadas en parches sobre una matriz de suelo desnudo (Meloni *et al.*, 2020) debido, principalmente, a la limitación del recurso hídrico. La vegetación se presenta en forma discontinua, siguiendo un patrón de dos fases, compuesto por parches vegetados e interparches de suelo desnudo (Noy Meir, 1973). Ambas fases están relacionadas funcionalmente en sistemas de fuente-destino donde los interparches actúan como fuente de agua, sedimentos y nutrientes para los parches vegetados (Aguiar y Sala, 1999). Así, los parches de vegetación determinan la mayoría de los procesos y funciones del suelo en estos ecosistemas (Rodríguez *et al.*, 2018) por lo que es vital la conservación de los atributos de los parches vegetados tales como número, tamaño y distribución espacial (Ludwig y Tongway, 1995).

Los estudios sobre los procesos eco-hidrológicos que se producen en las zonas de parches e interparches en diversas zonas áridas han llevado a concluir que los parches acumulan significativamente más agua en el suelo, con mayor infiltración y mayor desarrollo de la vegetación que las áreas de interparches (Ludwig *et al.*, 2005). Asimismo, se ha mostrado que los parches de arbustivas, arbustivas con herbáceas y los de gramíneas son más efectivos para mejorar la calidad del suelo y las funciones del ecosistema que los parches de herbáceas o las zonas de interparches (Molaeinasab *et al.*, 2021).

Tanto la heterogeneidad en las propiedades edáficas, así como la facilitación por parte de los parches de vegetación preexistentes, presentan un gran potencial para incrementar el establecimiento de especies vegetales en zonas semiáridas (Tongway *et al.*, 2004). La concentración de recursos edáficos y la mejora del microclima asociada a las manchas de vegetación pueden proporcionar microambientes favorables para la re-vegetación con especies de interés que contribuyan, en mayor medida, a un mejor funcionamiento del ecosistema (Vallejo *et al.*, 1999).

El análisis del patrón de distribución de la vegetación puede ser una herramienta efectiva para el monitoreo de las funciones del ecosistema (Read

*et al.*, 2016) y, por ende, para evaluar el nivel de éxito de los programas de restauración. El éxito de los programas de restauración efectuados en ecosistemas semiáridos ha sido, en muchas ocasiones, cuestionado (Odedra, 1996) debido a la falta de un monitoreo adecuado, con conocimientos sobre la estructura y funcionamiento de estos ecosistemas y al no aplicar métodos estandarizados para su monitoreo.

De ahí la relevancia de esta investigación cuyo objetivo es determinar si las obras de conservación de suelo y reforestación realizadas en un área de matorral espinoso tamaulipeco, contribuyen a mejorar la funcionalidad del ecosistema. La hipótesis que se plantea es que la funcionalidad del ecosistema mejora al realizar obras de conservación de suelo, evaluada ésta en función de la distribución de las áreas fuente (interparches) y las áreas de destino de los recursos (parches).

## Materiales y Métodos

### Área de estudio

El ejido “Las Barretas”, donde se realizó esta investigación, se localiza a 12 km al este de la cabecera municipal de Linares, Nuevo León, a 5 km al sur de la presa Cerro Prieto, en el noreste de México.

Dentro de los terrenos del ejido se realizó una obra de conservación de suelos en 2016. La obra consistió en el establecimiento de 2865 zanjas trinchera (2.00 m de largo x 0.4 m x 0.4 m) en una superficie de 81 ha y la plantación de un promedio de 450 plántulas por ha de huizache (*Acacia farnesiana*, (L.) Willd.), mezquite (*Prosopis laevigata*; Humb.& Bonpl. ex Willd.), anacahuita (*Cordia boissieri*; A.DC. 1845) y retama (*Parkinsonia aculeata*; L., Sp. Pl., 1:375, 1753), especies nativas del área cuya abundancia ha disminuido por efecto del sobrepastoreo.

Paralelamente a esta área, se seleccionó otra contigua, con las mismas características geomorfológicas y climáticas donde no se ha realizado ninguna obra de conservación de suelo y ahí se establecieron las parcelas testigo. Solamente el área donde se realizaron las obras se encuentra cercada.

En el área predominan los lomeríos suaves que van desde los 280 hasta los 300 msnm (INEGI, 1999),

con suelos de textura arcillo limosa y pendientes entre 1 y 5%. El clima es templado semicálido subhúmedo (INEGI, 2008). La precipitación media anual de 682 mm, temperatura máxima de 49°C y mínima de -6°C con una media de 23.3°C. Las principales lluvias se presentan en los meses de mayo y septiembre (CONAGUA). La vegetación predominante del área de estudio es matorral espinoso tamaulipeco, con mezquital (INEGI, 1982).

bos (LMP y AMP), así como la longitud de los interparches sin vegetación (Figura 2) para obtener el largo medio de los interparches (LMI). Se estimó también la Cobertura basal de vegetación perenne mediante la suma de las longitudes de cada transecto ocupadas por vegetación perenne o por aquellas especies suficientemente robustas para actuar como pseudo perennes (Tongway, 2004). En el caso de árboles y arbustos se consideró, además,

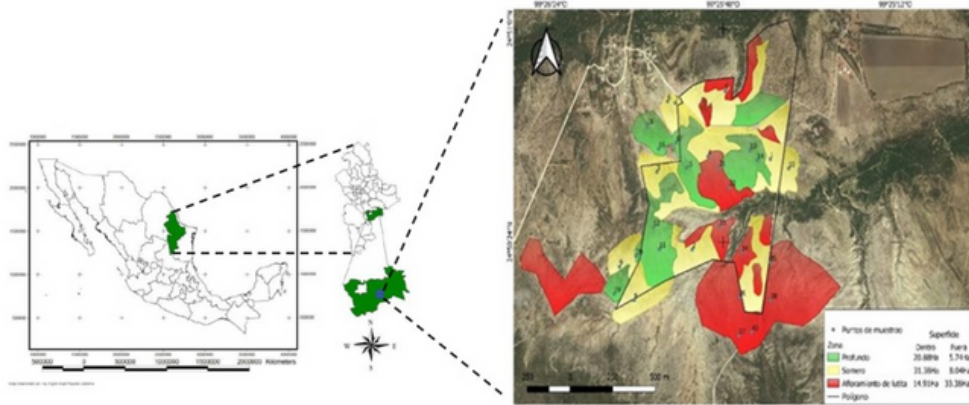


Figura 1. Ubicación del área de estudio y subdivisión de la misma en: i) suelo profundo (color verde), ii) suelo somero (color amarillo) y iii) afloramiento de lutita (color rojo) en el área con obras de conservación de suelo (ACCS) y su contraparte en áreas sin obras de conservación de suelo o áreas testigo (T).

**Método**

El área de estudio fue estratificada en 3 subáreas considerando la profundidad de suelo, asociada a una ligera diferencia en las pendientes (Figura 1), con una pendiente promedio de 2%, 2.5% y 3.6% para los suelos profundos, someros y con afloramiento de lutita, respectivamente. En cada subárea, se realizaron transectos de 30 m de largo, de manera perpendicular a la pendiente, a una distancia mínima de 50 m entre ellos. En cada transecto se aplicó el método de puntos de contacto descrito por Mostacedo y Fredericksen (2000) registrando, cada 50 cm, el tipo de cobertura interceptada (especie vegetal arbustiva, biocostra, costra física, herbácea, hojarasca, pasto, roca y suelo desnudo) para calcular el porcentaje de cobertura total y la frecuencia relativa de cada tipo de cubierta.

Asimismo, se evaluaron los atributos que contribuyen a interrumpir, desviar o absorber la escorrentía superficial y los materiales transportados. Para ello, se midió el largo y ancho de los parches vegetados y se estimó el largo y ancho medio de am-

la proyección de la copa que recae en el transecto. Esta sumatoria se dividió entre la longitud total del transecto y se multiplicó por 100 para expresarla en porcentaje. El Índice de suelo desnudo se calculó a partir de:

$$LMI \times [(100 - Cobertura) \div 100].$$

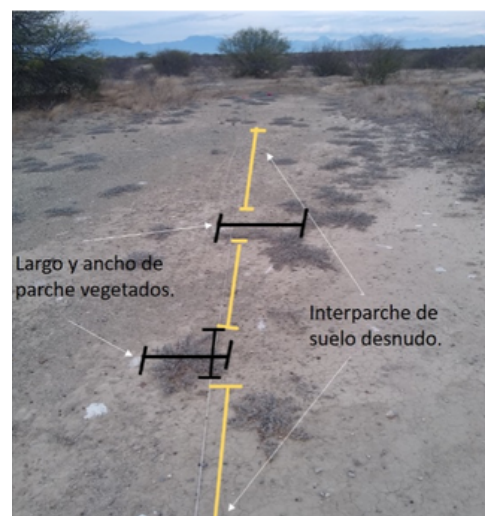


Figura 2. Registro de distancia entre los parches vegetados e interparches de suelo desnudo donde existe arrastre de recursos.

Para la determinación del número de transectos se utilizó la fórmula de Bonham (2013), tomando como variable para el pre-muestreo el número de parches de vegetación de los transectos. La ecuación utilizada fue:

$$n = \frac{t^2 \times s^2}{(k \times \bar{X})^2}$$

donde;

n = tamaño de la muestra o número mínimo de muestras requerido por sitio

t = parámetro estadístico t para un nivel de confianza dado (v= 4; α= 0.05)

s<sup>2</sup> = varianza muestral

k = la precisión deseada (0.1, para este caso)

X = media muestral

Las comparaciones de variables entre el área con obras de conservación de suelo (ACCS) y el área sin obras de conservación o testigo (T) se realizaron mediante pruebas de t de student (α = 0.05). La comparación entre subáreas por condición de suelo se realizó mediante análisis de Kruskal Wallis, ya que los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Los valores de significación de esta prueba se ajustaron con la corrección Bonferroni para varias pruebas.

## Resultados y discusión

El número de transectos determinados por la ecuación para cada sub-área fue: Afloramiento lutita (ACCS) = 11 transectos, Afloramiento lutita (T) = 53, Suelo profundo (ACCS) = 17, Suelo profundo (T) = 8, Suelo somero (ACCS) = 16 y Suelo somero (T) = 25; dando un total de 130 transectos.

### Cobertura de suelo

En general, se registró más suelo desnudo (P = 0.049) en el área testigo que en el área con obras de conservación de suelo, con porcentajes de 64.2% y 54.8%, respectivamente. La presencia de piedras superficiales, así como la cobertura de costras biológicas fue igual en ambas áreas (P = 0.892 y P = 0.336).

Las coberturas de vegetación arbustiva, pastos y hojarasca fueron iguales (P = 0.680, 0.170 y 0.693, respectivamente) en las áreas donde se realizaron

obras de conservación de suelo que en las áreas testigo. Es muy probable que el tiempo que ha transcurrido desde que se realizaron las obras sea insuficiente para que se manifiesten cambios en las abundancias de la vegetación arbustiva y, por ende, en la acumulación de hojarasca. Sin embargo, la cobertura de herbáceas (8.0%) fue mayor (P = 0.047) en el ACCS que en el testigo (3.5%). El incremento de las zonas de cobertura (parches) ha sido documentado por Read *et al.* (2016) en Australia, en una región con precipitación media anual similar a la zona de estudio. En dicha investigación, implementaron obras de restauración captadoras de agua y al comparar con áreas equivalentes sin obras de restauración reportan un incremento de hasta 60% de cobertura al aumentar el tiempo en que se habían realizado las obras captadoras de agua.

### Cobertura de suelo por sub-área

Al evaluarse la cobertura del suelo por subáreas, se observa que la profundidad del suelo está influyendo fuertemente en la cobertura del mismo, aparentemente en mayor medida que las prácticas de conservación de suelo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje de cobertura interceptada del suelo por subáreas de acuerdo a la presencia (ACCS) o no (T) de obras de conservación de suelo.

Tipo de cobertura	Suelo profundo		Suelo somero		Afloramiento lutita	
	ACCS	T	ACCS	T	ACCS	T
A	17.5ab	19.6ab	10.3a	10.4ab	4.2a	8.8a
CBS	7.0b	7.7b	2.5a	6.7b	2.0a	3.6ab
CF	0.2a	0.0b	0.0b	0.0b	0.0b	0.0b
HE	8.2b	5.4b	10.0b	3.0a	5.8b	1.9a
HO	8.9b	8.3b	5.0a	1.0a	0.9a	1.3a
P	11.0b	10.4b	6.7b	2.1a	7.0ab	1.3a
R	8.0a	10.4a	17.8ab	22.4ab	34.5b	31.9b
SD	56.7a	67.7ab	57.9a	64.7b	49.7a	60.1b

A: arbusto, CBS: costra biológica, CF: costra física, HE: herbáceas, HO: hojarasca, P: pasto, R: roca, SD: suelo desnudo. Letras diferentes en las filas indican valores estadísticamente diferentes (P ≤ 0.05, donde los valores de significación se ajustaron mediante la corrección Bonferroni para varias pruebas).

La cobertura con costra biológica del suelo fue menor en las áreas donde se realizaron obras de conservación de suelo, excepto para el caso de suelos profundos, si bien al comparar de manera conjunta ACCS y testigo, no se detectan diferencias (P = 0.336).

Para costra física (CF) la diferencia entre tratamientos ( $P = 0.022$ ) se debió a que solamente en la subárea de suelo profundo con obras de conservación (ACCS) hubo presencia de costra física, por lo que esta subárea fue diferente de todas las demás para esta variable del suelo.

Las diferencias en la pendiente de las tres condiciones de suelo pueden estar influyendo en una mayor escorrentía en aquellas áreas con mayor pendiente (suelo somero y afloramiento de lutita), generando un mayor arrastre del suelo depositado en la superficie tras excavar la zanja trinchera sepultando con ello las posibles costras biológicas que hubiera. El material extraído de la zanja sepulta, desde el momento de realizar la obra, un área de 2 m<sup>2</sup> por zanja, alterando las funciones originales de ese suelo (Cotler *et al.*, 2015) y la alteración continúa conforme el bordo se erosiona.

La cobertura con herbáceas también presentó diferencias entre los tratamientos y subáreas ( $P < 0.001$ ) con los mayores porcentajes de cobertura en las áreas donde se realizó conservación del suelo (ACCS) e iguales al testigo de suelo profundo.

Las mayores coberturas de hojarasca se encontraron en el suelo profundo, tanto en el área con obras de conservación de suelo, como en el testigo.

### Diversidad y frecuencia de especies

Se registraron 12 especies arbustivas, nueve en ACCS y nueve en T, teniendo seis especies en comun. Las tres especies que presentan mayor cobertura fueron iguales para el área con obras de conservación de suelo y el área testigo: *Acacia constricta*, *Karwinskia humboldtiana* y *Acacia rigidula*. La mayor cobertura de estas tres especies vegetales es debida al pastoreo intensivo al que estuvieron sujetas estas áreas, principalmente por ganado caprino y, en menor medida, vacuno, tras lo cual predominan las especies no palatables para el ganado. No se registró ninguna especie en algún estatus de conservación.

### Estructura espacial de la vegetación

Para evaluar los atributos que contribuyen a interrumpir, desviar o absorber la escorrentía superficial y los materiales transportados, se midió el largo medio de los inter-parches (LMI), largo medio de los parches (LMP) y ancho medio de par-

ches (AMP); asimismo, se estimó el índice de suelo desnudo (ISD) y Cobertura (COB). El Cuadro 2 muestra que el LMP y AMP son significativamente mayores en el área testigo, sin embargo también es mayor el LMI lo que significa una mayor superficie de suelo desnudo expuesta a riesgo de erosión. El área con obras de conservación tiene parches más pequeños pero más continuos, lo anterior queda evidenciado por el mayor ISD que resultó en el área sin obras de suelo.

Cuadro 2. Atributos que contribuyen a interrumpir, desviar o absorber la escorrentía superficial en un área con obras de conservación de suelo (ACCS) y el testigo sin obras de conservación de suelo (T).

Variable	ACCS	T
LMI	267a	368b
LMP	58a	99b
AMP	61a	96b
COB	21a	23a
ISD	267a	368b

LMI: largo medio de inter-parches, LMP: largo medio de parches, AMP: ancho medio de parches, COB: cobertura, ISD: índice de suelo desnudo. Letras diferentes en las filas indican valores estadísticamente diferentes (Prueba de t de student,  $P \leq 0.05$ ).

Al analizar los atributos de los parches, de manera diferenciada, para cada subárea (Cuadro 3), se observó que el largo de los interparches (LMI) es mayor en las áreas sin obras de suelo, excepto en la subárea de lutita donde no hubo diferencia significativa entre ambas y es la sub-área donde el largo medio de interparche fue mayor tanto para ACCS como T. Esta es una subárea donde prácticamente no hay suelo lo que explica la dificultad para que se establezca la vegetación.

Tanto el largo, como el ancho medio de los parches (LMP, AMP) fueron mayores en las áreas donde no existen obras de conservación de suelo, excepto para la subárea de suelo profundo donde no hubo diferencia entre el ACCS y el T.

La cobertura basal de la vegetación fue igual en ACCS y T para las subáreas de suelo profundo y suelo somero; solo en la subárea de afloramiento de lutita se presentó diferencia, con un valor mayor de cobertura basal (21%) en el área testigo.

Si bien las variables de largo y ancho medio del parche son significativamente mayores en el área

Cuadro 3. Atributos que contribuyen a interrumpir, desviar o absorber la escorrentía superficial analizados por subáreas (suelo profundo, suelo somero y afloramiento de lutita) para cada condición: área con obras de conservación de suelo (ACCS) y área sin obras de conservación de suelo (T).

Subáreas	LMI (m)		LMP (m)		AMP (m)		COB (%)		ISD	
	ACCS	T	ACCS	T	ACCS	T	ACCS	T	ACCS	T
Suelo profundo	158.1a	322.2b	70.8a	91.6a	68.6a	100.7a	30a	22a	157.7a	321.7b
Suelo somero	231.1a	358.1b	60.3a	117.6b	64.5a	124.6b	20a	27a	230.7a	357.4b
Afloramiento de lutita	488.1a	380.3a	34.6a	91.0b	42.6a	81.7b	7a	21b	487.8a	379.7a

LMI: largo medio de los interparches, LMP: largo medio del parche, AMP: ancho medio del parche, COB: cobertura, ISD: índice de suelo desnudo. Letras diferentes en las filas indican valores estadísticamente diferentes (Prueba de t de student,  $P \leq 0.05$ ) de manera independiente para cada variable.

testigo, también lo es el largo medio del interparche, por lo menos en las subáreas de suelo profundo y suelo somero. Esto significa una mayor superficie de suelo expuesta a riesgo de erosión. El área con obras de conservación de suelo muestra que tiene parches más pequeños, pero más continuos. Lo anterior queda también evidenciado por el mayor índice de suelo desnudo que resultó en el área sin obras de conservación de suelo para esas dos subáreas.

Cotler *et al.*, (2013) tras evaluar la recuperación de la productividad del suelo y la regulación del ciclo hidrológico, en un área del centro de México, donde se habían realizado zanjas trinchera como práctica de conservación de suelo cuatro años atrás, concluyeron que el efecto acumulado de las obras de conservación de suelo no fue positivo. Los parámetros de productividad y regulación del ciclo hidrológico utilizados fueron mejores en las parcelas testigo que en aquellas donde se realizaron obras de conservación de suelo.

En obras de este tipo, como las zanjas trinchera, el suelo excavado queda sobre la superficie del suelo por lo que es muy susceptible a erosionarse. Asimismo, el carbono orgánico de ese suelo queda expuesto a una mineralización acelerada (Geissen *et al.*, 2013) convirtiéndose en una fuente de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera (FAO, 2017).

A diferencia del estudio que aquí se presenta, donde solo las herbáceas incrementaron su cobertura después de tres años de realizadas las obras de conservación de suelo, en un estudio realizado en Islandia, reportan mayor cobertura de hojarasca, biocostra, pastos y herbáceas, en áreas

con solo 2 años de recuperación respecto al control. La cobertura vegetal fue de 10% en en las parcelas testigo y de 50%, 77% y 75% después de 2, 5 y 11 años respectivamente posteriores a las obras de restauración (Elmarsdottir *et al.*, 2003). La obra de conservación de suelo realizada en el estudio en Islandia consistió básicamente en la aplicación de abono orgánico y fertilizantes inorgánicos en micrositos identificados para favorecer la colonización por especies nativas. Ciertamente, tanto la temperatura como la precipitación difieren notablemente de nuestra área de estudio por lo que sería difícil pretender extrapolar directamente esta práctica que aparenta ser mucho más favorecedora en la recuperación de la funcionalidad del ecosistema. Sin embargo, debe ser tomada en consideración con las debidas adecuaciones.

### Conclusiones

Los resultados sugieren que, hasta la fecha, las obras de conservación de suelo realizadas en el ejido Las Barretas no han mejorado significativamente la funcionalidad del ecosistema, ya que no se han incrementado las dimensiones de los parches vegetados que son los responsables de la mayor acumulación de agua en el suelo, mayor infiltración y, en consecuencia, mayor desarrollo de la vegetación. Solo la cobertura de herbáceas es mayor en el área con obras de conservación de suelo y se ha demostrado que éstas son las menos efectivas para mejorar las funciones del ecosistema, en comparación con las arbustivas o gramíneas. Sin embargo, esta cobertura de herbáceas puede ser el primer paso para favorecer

una mayor infiltración de agua en el suelo, así como un paulatino incremento en la acumulación de materia orgánica a través de la incorporación de la biomasa aérea y radicular de estas especies, por lo regular, anuales.

### **Agradecimientos**

A la Universidad Autónoma de Nuevo León por el apoyo otorgado (Proyecto: CT1264-20). El primer autor agradece la beca para estudios doctorales proporcionada por CONACYT.

## Literatura citada

- Aguiar, M.R., y O.E. Sala. (1999). Patch structure, dynamics and implications for the functioning of arid ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution*, 14(7), 273-277.
- Bonham, D. (2013). *Measurements for Terrestrial Vegetation*. 2nd edition. Wiley-Blackwell 260 pp. West Sussex, U.K. ISBN: 978-0-470-97258-8.
- Cotler, H., S. Cram, S. Martinez-Trinidad y E. Quintanar. (2013). Forest soil conservation in central Mexico: An interdisciplinary assessment. *Catena* 104, 280–287 <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2012.12.005>
- Cotler, H., S. Cram, S. Martinez-Trinidad y V. Bunge. (2015). Evaluación de prácticas de conservación de suelos forestales en México: caso de las zanjas trincheras. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 88, 6-18. ISSN: 0188-4611. <https://doi.org/10.14350/ig.47378>
- Elmarsdottir, A., A.L. Aradottir y M.J. Trlica. (2003). Microsite availability and establishment of native species on degraded and reclaimed sites. *Journal of Applied Ecology*, 40, 815–823. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2003.00848.x>
- FAO. (2017). *Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Roma, Italia. 77 pp.
- Geissen, V., S. Wang, K. Oostindie, E. Huerta, K.B. Zwart, A. Smit, C.J. Ritsema y D. Moore. (2013). Effects of topsoil removal as a nature management technique on soil functions. *CATENA* 101, 50-55. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.10.002>
- INEGI Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (1982). *Carta de Uso del Suelo y Vegetación escala 1:50 000, Linares G14C58, Nuevo León, México*.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (1999). *Carta topográfica escala 1:50 000, Linares G14C58, Nuevo León y Tamaulipas. México*.
- INEGI. (2008). *Climatología, colección: Cartas Climatológicas escala 1:1 000 000, Estados Unidos Mexicanos*. Disponible desde Internet en <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/#Mapa> [consultado abril 2021].
- Ludwig J., B.P. Wilcox, D.D. Breshears, D.J. Tongway y A.C. Imeson. (2005). Vegetation patches and runoff-erosion as interacting ecohydrological processes in semiarid landscapes. *Ecology* 86(2), 288-297. <https://doi.org/10.1890/03-0569>
- Ludwig, J.A. y D.J. Tongway. (1995). Spatial organization of landscapes and its function in semi-arid woodlands, Australia. *Landscape Ecology*, 10(1), 51-63.
- Meloni, F., B. Civieta, J. Zaragoza, M. Moraza, y S. Bautista. (2020). Vegetation Pattern Modulates Ground Arthropod Diversity in Semi-Arid Mediterranean Steppes. *Insects* 11, 59. [10.3390/insects11010059](https://doi.org/10.3390/insects11010059).
- Molaeinasab, A., H. Bashari, M.R. Mosaddeghi y M. Tarkesh. (2021). Effects of different vegetation patches on soil functionality in the central Iranian arid zone. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 21(6). [10.1007/s42729-021-00426-y](https://doi.org/10.1007/s42729-021-00426-y)
- Mostacedo, B. y T. Fredericksen. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. BOLFOR. Ed. El País. Santa Cruz, Bolivia. 92 pp. Disponible desde Internet en: <https://docplayer.es/16236115-Manual-de-metodos-basicos-de-muestreo-y-analisis-en-ecologia-vegetal-bonifacio-mostacedo-todd-s-fredericksen.html> [accessed Aug 27 2021].
- Noy-Meir, I. (1973). Desert ecosystems: environment and producers. *Annual review of ecology and systematics*, 4(1), 25-51.
- Odedra-Straub, M. (1996). *Global information technology and socio-economic development*. Ivy League Pub.
- Read, Z.J., H.P. King, D.J. Tongway, S. Ogilvy, R.S.B. Greene y G. Hand. (2016). Landscape function analysis to assess soil processes on farms following ecological restoration and changes in grazing management: Assessment of soil processes in grazing land with landscape function analysis. *European Journal of Soil Science* 67(4), 409-420. <https://doi.org/10.1111/ejss.12352>



- Rodríguez, F.; A.G. Mayor, M. Rietkerk y S. Bautista. (2018). A null model for assessing the cover-independent role of bare soil connectivity as indicator of dryland functioning and dynamics. *Ecological Indicators*, 94, 512–519.
- Tongway, D.J., J. Cortina y F.T. Maestre. (2004). Heterogeneidad espacial y gestión de medios semiáridos. *Ecosistemas* 13(1), 2-15. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=88>
- Tongway, D.J. y N.L. Hindley. (2005). *Landscape function analysis: Procedures for monitoring and assessing landscapes with special reference to minesites and rangelands*. CSIRO. Australia. ISBN 0 9751783 0 X. 80 pp.
- Vallejo, V.R., S. Bautista y J. Cortina (1999). Restoration for soil protection after disturbances. In: Trabaud, L. (Ed.) *Life and the Environment in Mediterranean. Ecosystems. Advances in Ecological Science*, pp. 3.01-343. WIT Press, Southampton. ISBN 9781-85312-680-2.