

Ordenación de la vegetación del Cañón de Matacanes, Santiago, Nuevo León, México

Vegetation ordination of Matacanes Canyon, Santiago, Nuevo León, Mexico

Erick Alejandro Rodríguez-Moctezuma¹ , Jaime Sánchez-Salas² , Mario Alberto García-Aranda³ , Andrés Eduardo Estrada-Castillón^{1*} 

¹Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Km 145 carretera Nacional Linares-Ciudad Victoria, A.P. 41, CP. 67700. Linares, Nuevo León, México.

²Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Universidad S/N, Núcleo Universitario, Filadelfia, CP. 35019 Gómez Palacio, Durango.

³Especies, Sociedad y Hábitat, A.C., José Clemente Orozco 441, Misión Real, CP. 66640. Apodaca, Nuevo León, México.

*Autor de correspondencia: aeduardoestradac@prodigy.net.mx

Artículo científico

Recibido: 28 de mayo 2025

Aceptado: 21 de noviembre 2025

RESUMEN. Las actividades de turismo de aventura en áreas naturales pueden generar impactos significativos en los ecosistemas, lo que requiere una comprensión de los factores que influyen en la vegetación para una gestión efectiva. El objetivo de este estudio es identificar las principales variables ambientales que afectan la distribución de la vegetación en el Cañón de Matacanes in México, y evaluar el papel del turismo de aventura en su ecología. Se realizó un muestreo de la cobertura y densidad de 104 especies de plantas y 15 variables ambientales en 24 sitios. El análisis de los datos se realizó mediante Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) exploratorio y confirmatorio. La cobertura de herbáceas, la distancia al río y la altitud fueron las variables más influyentes en la distribución de especies (Eje 1 del ACC). El pisoteo por humanos y ganado fue la variable más importante en el Eje 2. Se encontró una fuerte correlación entre el ramoneo, las excretas de ganado y la presencia de basura. El estudio demuestra que, si bien el cañón mantiene un estado de conservación adecuado con alta diversidad nativa, las actividades recreativas y ganaderas son factores de disturbio clave que influyen en la distribución de la vegetación, destacando la necesidad de una gestión para mitigar estos impactos.

Palabras clave: Vegetación, ordenación, ACC, cañonismo, turismo de aventura.

ABSTRACT. Adventure tourism activities in natural areas can generate significant impacts on ecosystems, which requires an understanding of the factors influencing vegetation for effective management. The objective of this study was to identify the main environmental variables affecting the distribution of vegetation in the Matacanes Canyon in Mexico, and to evaluate the role of adventure tourism in its ecology. Sampling of the cover and density of 104 plant species and 15 environmental variables was conducted across 24 sites. Data analysis was performed using exploratory and confirmatory Canonical Correspondence Analysis (CCA). Herbaceous cover, distance to the river, and altitude were the most influential variables on species distribution (CCA Axis 1). Trampling by humans and livestock was the most important variable on Axis 2. A strong correlation was found between browsing, livestock excrement, and the presence of litter. The study demonstrates that, while the canyon maintains an adequate conservation status with high native diversity, recreational and livestock activities are key disturbance factors influencing vegetation distribution, highlighting the need for management to mitigate these impacts.

Keywords: Vegetation, ordination, CCA, canyoning, adventure tourism.

INTRODUCCIÓN

El ecoturismo y el turismo de aventura son modalidades turísticas ambientalmente responsables que consisten en visitar áreas naturales con la finalidad de disfrutar, apreciar y estudiar los atractivos naturales de dichas zonas (Ceballos-Lascuráin 1998). Estas actividades pueden aportar beneficios económicos y promover la conciencia ambiental, sin embargo, si no se gestionan adecuadamente generan impactos negativos como la erosión de suelos, alteración de la vegetación, generación de residuos y degradación de hábitats (Barros y Pickering 2014, Genç 2021, Huamantupa-Chuquimaco *et al.* 2023). La implementación de políticas públicas, programas de educación ambiental y modelos de turismo sostenible requiere una planificación y gestión integral (Barbhuiya 2025).

En múltiples ocasiones los medios han afirmado que el turismo desmedido provoca disturbios en el medio ambiente ya sea por el número elevado de visitantes o por la falta de educación ambiental de los mismos (Jiménez-Bulla 2009). Diversos autores han expresado el rápido crecimiento de esta actividad acompañada del interés lucrativo (UNWTO 2014, Schirn 2023) y la importancia que la academia tiene en su comprensión para brindar herramientas de gestión (Janowski *et al.* 2021).

En Nuevo León se ha registrado un aumento de 40,801 a 68,453 visitantes (67%) en los parques naturales desde el 2010 hasta 2022 (SECTUR 2022). El Parque Nacional Cumbres de Monterrey (PNCM) es un área emblemática del estado con una alta diversidad de especies de flora (Estrada-Castillón *et al.* 2013) y una amplia oferta de atracciones turísticas (CONANP 2021). Una de sus atracciones focales más conocidas es el recorrido Matacanes en el cual se practica el cañonismo, actividad que atrae a los turistas que buscan este tipo de experiencia. El PNCM ha sido ampliamente estudiado en su flora, diversidad, incendios y disturbios. Sin embargo, hay poca información referente a disturbios provenientes de actividades ecoturísticas y de turismo de aventura. En Matacanes se han registrado embottellamientos de hasta 250 transeúntes en zonas claves del recorrido aunada a información sobre el riesgo que tienen las incursiones por prestadores irregulares de servicios turísticos representan para el sitio. La falta de información sobre la ecología de los cañones de Nuevo León representa un vacío de conocimiento importante para la administración de los recursos naturales (CONANP 2021).

Una de las grandes preguntas que ha incentivado al estudio a los ecólogos fue hecha por Hutchinson (1959), que se reduce fundamentalmente a ¿Qué controla el número y densidad relativa de las especies en una comunidad? Una aproximación con alta aceptación ha sido el estudio de las variables estructurales de la vegetación con relación a las variables ambientales del sitio en que se encuentra (Enright *et al.* 2005), mejor conocido como ordenación. La aplicación de este tipo de estudios en Kirthar National Park, Pakistán por Enright *et al.* (2005) señala que la vegetación en montañas, acantilados y cañones presenta una mayor diversidad de especies y, son estos mismos lugares los que cuentan con un menor impacto por actividades humanas comparados con las planicies y ecosistemas riparios. Sus variables con mayor influencia en la distribución de especies de flora fueron relacionados a la disponibilidad de agua (pendiente y pedregosidad). En contraste, análisis aplicados a nivel regional en el noreste de México indican que son la altitud, el contenido de materia orgánica y la temperatura mínima y máxima las variables con mayor influencia en la distribución de la vegetación (Estrada-Castillón *et al.* 2015).

El objetivo del presente estudio es conocer cuáles son las principales variables ambientales que afectan la distribución de la vegetación en el Cañón Matacanes, en Santiago, Nuevo León, México y determinar si las actividades de turismo de aventura efectuadas en el recorrido desempeñan un papel su ecología.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo entre junio y agosto del 2022 en el cañón de Las Adjuntas, también conocido como cañón de Matacanes, en el recorrido de homónimo (Punto de inicio del recorrido en el cañón: 25°17'46.96'' LN, 100°11'24.76'' LO y punto final del recorrido dentro del cañón: 25°18'3.80'' LN, 100°8'29.57'' LO), en el municipio de Santiago, Nuevo León, México (Figura 1). El río es perenne con inicio desde la localidad La Camotera y con su desembocadura en el río Ramos (INEGI 2015). El clima en Santiago es cálido y templado con una temperatura media de 17.4 °C y una de precipitación 1299 mm al año (INEGI 1990). De acuerdo con la carta de Uso de suelo y tipo de vegetación Serie V de la INEGI (2013) para la región G14-7 la zona cuenta con cuatro tipos de vegetación: Matorral submontano, Bosque de encino, Bosque de encino-pino y Bosque de pino-encino.

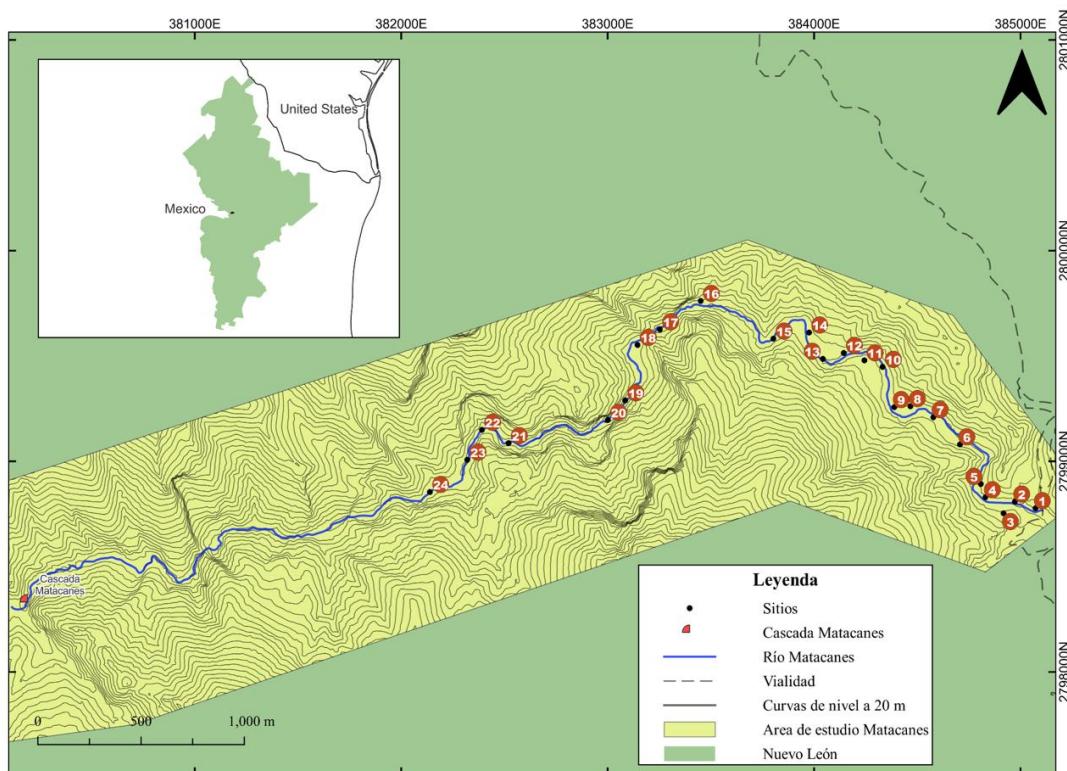


Figura 1. Ubicación de los 24 sitios de muestreo (puntos negros, muestreados entre junio y agosto del 2022). Creado en QGIS.

Diseño del muestreo

Se realizó un estudio descriptivo (Mueller-Dombois y Ellenberg 1974, Ribichich y Casenave 1998) con muestreo estratificado, probabilístico y representativo. Se establecieron sitios cuadrados (Alanís-Rodríguez *et al.* 2020) de 10 m x 10 m a una distancia mínima de 80 metros entre sí a lo largo del recorrido Matacanes. Dentro de cada sitio se evaluó la cobertura vegetal y densidad (número de individuos por unidad de área) para determinar su Índice de Valor de Importancia (IVi) (Alanís-Rodríguez *et al.* 2020). Las especies se identificaron con monografías de los géneros presentes en el área de estudio y tiene como base el estudio florístico del estado de Nuevo León (Villarreal Quintanilla y Estrada-Castillón 2008). Todos los ejemplares reportados se encuentran almacenados en el herbario de la Facultad de Ciencias Forestales, Linares, Nuevo León, México (CFNL). Para conocer qué variables ambientales influyen en la distribución de la vegetación (Körner 1994), se evaluó: la altitud sobre nivel del mar (ALT) (Akira *et al.* 2013, Estrada-Castillón *et al.* 2015), exposición, en grados (EXP) (Burton *et al.* 2011; Estrada-Castillón *et al.* 2015), pendiente, en grados de inclinación (PEND), pedregosidad, en porcentaje (PED), roca madre expuesta, en porcentaje (RME), materia orgánica, en porcentaje (MO), cobertura de estrato herbáceo (HERBCA) (Estrada-Castillón *et al.* 2015), contenido de arena en suelo, en porcentajes (ARE), contenido de arcilla en suelo, en porcentaje (ARC), presencia de excrementos, en porcentaje (EXC) (Baraza y Valiente-Banuet 2008), ramoneo, en porcentaje (RAM) (Mligo y Lyaruu 2008, Faison *et al.* 2016), presencia de basura, en porcentaje (BASURA) (Plaza y Lambertucci 2017) y pisoteo, en porcentaje (PSTEO) (Pescott y Stewart 2014), cercanía de especies a la orilla del río, en metros (DAGUA) (Zeng *et al.* 2019) y la presencia de caminos o veredas en el sitio (VEREDA) (Huang *et al.* 2015).

La localización de los sitios de muestreo fue previamente establecida mediante el programa QGIS con sus herramientas de distribución aleatoria a lo largo de un segmento con limitaciones en cercanía. Este mismo programa se empleó para calcular la altitud con el uso de curvas de nivel de datos de archivo shape ofrecidos por la INEGI (2017). Las coordenadas fueron localizadas en el recorrido mediante el uso de GPS (error +/- cinco metros). Los factores topográficos que se determinaron fueron: pendiente, obtenida con clinómetro (grados); hojarasca (% de superficie cubierta), pedregosidad (% de superficie cubierta por roca desde dos hasta 30 cm de diámetro medio), roca madre expuesta (% de superficie cubierta por rocas con diámetro medio mayor a 30 cm) y la cobertura de herbáceas (%) se determinaron por cobertura de superficie realizando muestreos de un m² dentro del sitio, con al menos cinco repeticiones cada una (Daubenmire 1968). La textura del suelo fue determinada con la ayuda de tablas de campo (Siebe *et al.* 2016); las excretas se contabilizaron por montículos, la basura por unidad y tipo de desecho, y el ramoneo y pisoteo por estimación de área afectada. La cercanía al agua (m) se calculó con un flexómetro.

Las variables bióticas se determinaron de la siguiente manera: la cobertura vegetal (C) (proyección del dosel sobre la superficie del suelo) se calculó como porcentaje de superficie cubierta del aérea por especie, y la densidad (D) se calculó contando los individuos por especie (Mueller-Dombois y Ellenberg 1974, Alanís-Rodríguez *et al.* 2020). Posteriormente se estandarizaron con fines de facilitar la comparativa en unidades por hectárea (m²/ha e individuos/ha). La cobertura vegetal [1] y densidad [2] fueron transformados a valores relativos (Mueller-Dombois y Ellenberg 1974, Brower *et al.* 1997). Despues fueron estandarizados de cero a 100 [3]. Las plantas fueron identificadas por un especialista en la materia.

$$Cri = \frac{Ci}{\sum Ci} \times 100$$

$$Dri = \frac{Di}{\sum Di} \times 100$$

$$IVi = \frac{Cri + Dri}{2}$$

Donde: Ci es el número cobertura vegetal por especie en m²/ha, Cri es la cobertura vegetal relativa de la especie, Di es el número de individuos de la especie/ha. y Dri es la densidad relativa de la especie. Además, se clasificaron las especies por forma vegetal de acuerdo con Mueller-Dombois y Ellenberg (1974).

Análisis estadístico

Se determinó la cobertura vegetal y densidad para las especies vegetales de los tres estratos y se descartaron las que tuvieran una cobertura menor a 0.4 m²/ha y una densidad menor a 200 individuos/ha para evitar las especies raras; posteriormente se obtuvo el índice de valor de importancia (IVi) para estas especies (Estrada-Castillón *et al.* 2015, Alanís *et al.* 2020). Para el ordenamiento de la vegetación se utilizó el programa estadístico CANOCO versión 4.5 (ter Braak y Šmilauer 2002) con la finalidad de examinar la relación entre especies y las variables ambientales mediante análisis exploratorio y posteriormente, seleccionadas las variables más importantes, fueron sometidas a un análisis confirmatorio (ter Braak 1986, 1987).

RESULTADOS

Riqueza y estructura

Se registraron en total 104 especies, 90 géneros y 50 familias de flora en los 24 sitios de muestreo. La vegetación del cañón de Matacanes cuenta con especies representativas en las diferentes comunidades vegetales: Bosque de Encino y Encino-Pino, como lo son *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Quercus canbyi* Trel. y *Q. polymorpha* Schltld. Cham.; Matorral Espinoso Tamaulipeco (Estrada-Castillón *et al.* 2015), tales como *Bernardia myricifolia* (Scheele) S. Watson, *Agave lechuguilla* Torr. y *Havardia pallens* (Benth.) Britton & Rose) y Matorral submontano con *Amyris madrensis* S. Watson, *Karwinskia humboldtiana* (Schult.) Zucc., *Celtis pallida* Torr, *Neoprinorea integrifolia* (Hemsl.) S. Watson, *Zanthoxylum fagara* Sarg., *Decatropis bicolor* Radlk. y *Juglans mollis* Engelm.

Forma vegetal

Las herbáceas (46 especies) son la que presentan mayor riqueza de las formas vegetales encontradas, seguidas por las arbóreas (30) y arbustivas (18); en densidad se presenta la misma jerarquía: herbáceas (73.69%), arbóreas (13.51%) y arbustivas (9.4%). En la cobertura predominan las especies arbóreas, con 72.4%, seguida por herbáceas (15.6%) y arbustivas (10.71%).

IVi

Los valores de IVi más altos se obtuvieron para *Quercus rysophylla* Weath. como parte del estrato arbóreo y de *Toxicodendron radicans* (L.) Kuntze, *Adiantum capillus-veneris* L. y *Pteris longifolia* L. para el estrato herbáceo g (Tabla 1).

Análisis de Correspondencia Canónica exploratorio.

En el análisis de correspondencia canónica (ACC) exploratorio se utilizaron las 15 variables ambientales: ALT, PEND, EXP, VEREDA, PED, RME, MO, HERBCA, EXC, BASURA, PSTEO, RAM, DAGUA, ARE y ARC. En el análisis se obtuvo un valor de la inercia total (varianza total) de 10.12, mayor a tres desviaciones estándar, lo cual indica que nuestros datos pueden ser analizados con confianza estadística mediante ACC. El primer Eigenvalor comprende el 79.4% de la varianza total de los datos, y, en suma, los tres primeros ejes que comprenden el 98% de la variabilidad total. Esto indica que podemos analizar las principales variables ambientales que influyen en la distribución de la vegetación únicamente con el primer eje de ordenación (Tabla 2).

Los valores de correlación más altos de las variables ambientales con el primer eje son para HERBCA (0.668), DAGUA (-0.610) y ALT (0.574), mientras que, para el segundo eje de ordenación, la variable más correlacionada fue PSTEO ((0.671)). Estas cuatro variables ambientales fueron sometidas a un análisis confirmatorio.

La Tabla 3 muestra las correlaciones entre las variables ambientales, siendo las más fuertes: EXC-RAM (0.8316), BASURA-RAM (0.7436). Donde el ramoneo por el ganado se asocia fuertemente con la presencia de excretas de estos y la presencia de basura. La representación gráfica de la relación entre las variables bióticas y ambientales (abióticas) se muestra en la Figura 2. Se observa para el eje uno (horizontal) una alta influencia de los vectores ALT (altura) y HERBCA (cobertura de herbáceas). Para el eje dos (vertical) el vector PSTEO (pisoteo). El vector DAGUA (distancia del sitio al agua) tiene una representación equitativa en ambos ejes. Las variables PEND (pendiente), ARE (contenido de arena), ARC (contenido de arcilla), RAM (ramoneo) no fueron significativas para la ordenación de la vegetación.

La relación negativa entre la altitud y las excretas, y la correlación entre esta última con la basura y presencia de ramoneo determina que a partir de cierto punto del recorrido el ganado tiene acceso al cañón, siendo el sitio 18 (figura 1) donde se avistó la primera excreta y la topografía reduce su pendiente.

Análisis de correspondencia canónica confirmatorio

En este análisis, se obtuvo una inercia total de 10.12 (mayor a tres desviaciones estándar), lo cual indica que los datos pueden ser analizados con confianza estadística. El primer eje tiene un Eigenvalor que abarca el 72.5% de la varianza total de los datos, además el 95.7% (0.957) de la correlación de las especies y ambiente, por lo cual el eje uno puede ser utilizado para el análisis de los datos. La tabla 4 muestra los valores de importancia de las variables con los ejes, así como la correlación entre las variables ambientales sometidas a la prueba comprobatoria.

Tabla 1. Valores de IVi (base 100).

Especie	Acrónimo	Densidad (ind/ha)	Dr (%)	Cobertura vegetal (m ² /ha)	Cr (%)	IVi
<i>Adiantum capillus-veneris</i> L.	Adiacapi	20 300	13.5	101.3	1.5	7.5
<i>Agave lechuguilla</i> Torr.	Agavlech	800	0.5	52.9	0.8	0.7
<i>Agave asperrima</i> Jacobi	Agavaspe	200	0.1	9.2	0.1	0.1
<i>Ageratina havanensis</i> (Kunth) R.M.King & H.Rob.	Agerhava	200	0.1	2.1	0.0	0.1
<i>Amyris madrensis</i> S.Watson	Amirmadr	500	0.3	1.3	0.0	0.2
<i>Anredera scandens</i> Sm.	Anrescan	300	0.2	3.3	0.0	0.1
<i>Bauhinia macranthera</i> Benth. ex Hemsl.	Bauhmacr	500	0.3	2.7	0.0	0.2
<i>Bernardia myricifolia</i> (Scheele) S.Watson	Bernmyri	400	0.3	12.5	0.2	0.2
<i>Brahea dulcis</i> (Kunth) Mart.	Brahdulc	200	0.1	8.3	0.1	0.1
<i>Canavalia villosa</i> Benth.	Canavill	1 000	0.7	12.5	0.2	0.4
<i>Carya myristiciformis</i> (F.Michx.) Nutt. ex Elliott	Carymyri	200	0.1	33.3	0.5	0.3
<i>Carya ovata</i> (Mill.) K.Koch	Caryovat	600	0.4	8.4	0.1	0.3
<i>Celtis pallida</i> Torr.	Celtpall	200	0.1	0.4	0.0	0.1
<i>Chrysactinia truncata</i> S.Watson	Chrytrun	200	0.1	4.7	0.1	0.1
<i>Colubrina greggii</i> S.Watson	Colugreg	600	0.4	60.0	0.9	0.6
<i>Croton ciliatoglandulifer</i> Ortega	Crotcili	6 500	4.3	277.9	4.1	4.2
<i>Croton fruticulosus</i> Torr.	Crotfruc	2 200	1.5	36.5	0.5	1.0
<i>Croton suaveolens</i> Torr.	Crotsuav	300	0.2	14.2	0.2	0.2
<i>Dasyliion berlandieri</i> S.Watson	Dasyberl	200	0.1	2.1	0.0	0.1
<i>Decatropis bicolor</i> Radlk.	Decabico	2 500	1.7	119.7	1.8	1.7
<i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	Dodovisc	1 100	0.7	23.3	0.3	0.5
<i>Erythrostemon mexicanus</i> (Rose) Gagnon & G.P.Lewis	Erytmexi	200	0.1	22.2	0.3	0.2
<i>Garrya ovata</i> Benth.	Garrovat	200	0.1	4.6	0.1	0.1
<i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose	Havapall	3 400	2.3	248.4	3.6	3.0
<i>Juglans mollis</i> Engelm.	Juglmoll	600	0.4	198.2	2.9	1.7
<i>Justicia pilosella</i> (Nees) Hilsenb.	Justpilo	3 100	2.1	2.2	0.0	1.0
<i>Karwinskia humboldtiana</i> (Schult.) Zucc.	Karwhum	1 200	0.8	68.1	1.0	0.9
<i>Lantana achyranthifolia</i> Desf.	Lantachy	1 900	1.3	16.7	0.2	0.8
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Leucleuc	600	0.4	95.8	1.4	0.9
<i>Ligustrum lucidum</i> W.T.Aiton	Liguluci	800	0.5	46.4	0.7	0.6
<i>Litsea glaucescens</i> Kunth	Litsglau	400	0.3	11.0	0.2	0.2
<i>Lobelia cardinalis</i> L.	Lobecard	1 300	0.9	8.8	0.1	0.5
<i>Malvastrum americanum</i> (L.) Torr.	Malvamer	1 000	0.7	8.3	0.1	0.4
<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka	Melirepe	5 200	3.5	54.6	0.8	2.1
<i>Mimosa aculeaticarpa</i> Ortega	Mimoacul	200	0.1	8.3	0.1	0.1
<i>Mimosa malacophylla</i> A.Gray	Mimomal	400	0.3	38.5	0.6	0.4
<i>Neoprinorea integrifolia</i> (Hemsl.) S. Watson	Neopinte	2 000	1.3	7.1	0.1	0.7
<i>Opuntia lindheimeri</i> Engelm	Opunlind	300	0.2	8.3	0.1	0.2
<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (L.) Planch.	Partquin	1 200	0.8	1.1	0.0	0.4
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	Pinupseu	1 900	1.3	502.5	7.4	4.3
<i>Platanus occidentalis</i> L.	Platocci	1 700	1.1	363.0	5.3	3.2
<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	Prunsero	200	0.1	15.4	0.2	0.2

<i>Ptelea trifoliata</i> L.	Pteltrif	400	0.3	31.3	0.5	0.4
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	Pteraqui	5 000	3.3	64.4	0.9	2.1
<i>Pteris longifolia</i> L.	Pterlong	14 900	9.9	228.2	3.3	6.6
<i>Quercus canbyi</i> Trel.	Quercanb	500	0.3	159.2	2.3	1.3
<i>Quercus polymorpha</i> Schltdl. & Cham.	Querpoly	1 700	1.1	607.1	8.9	5.0
<i>Quercus rysophylla</i> Weath.	Querryso	3 400	2.3	2 188.5	32.1	17.2
<i>Randia laetevirens</i> Standl.	Randlaet	1 800	1.2	91.7	1.3	1.3
<i>Ruellia corzoi</i> Tharp & F.A.Barkley	Ruelcorz	2 400	1.6	3.3	0.0	0.8
<i>Salix nigra</i> Marshall	Salinigr	1 000	0.7	338.3	5.0	2.8
<i>Selaginella pilifera</i> A.Br.	Selapili	3 600	2.4	4.2	0.1	1.2
<i>Senegalia berlandieri</i> (Benth.) Britton & Rose	Seneberl	200	0.1	8.3	0.1	0.1
<i>Sideroxylon celastrinum</i> (Kunth) T.D.Penn.	Sidecela	300	0.2	14.1	0.2	0.2
<i>Sideroxylon lanuginosum</i> Michx.	Sidelanu	200	0.1	58.3	0.9	0.5
<i>Smilax bona-nox</i> L.	Smilbona	2 200	1.5	16.7	0.2	0.9
<i>Toxicodendron radicans</i> (L.) Kuntze	Toxiradi	20 500	13.6	224.4	3.3	8.5
<i>Tradescantia pringlei</i> S.Watson	Tradprin	2 600	1.7	16.7	0.2	1.0
<i>Tragia ramosa</i> Torr.	Tragromo	2 200	1.5	10.0	0.1	0.8
<i>Urtica chamaedryoides</i> Pursh	Urticham	11 200	7.4	85.0	1.2	4.3
<i>Vernonia greggii</i> A.Gray	Verngreg	300	0.2	0.8	0.0	0.1
<i>Vigethia mexicana</i> (S.Watson) W.A.Weber	Vigemexi	8 100	5.4	42.4	0.6	3.0
<i>Xanthosoma robustum</i> Schott	Xantrobu	1 100	0.7	102.1	1.5	1.1
<i>Zanthoxylum fagara</i> Sarg.	Zantfaga	200	0.1	5.3	0.1	0.1

Dr (Densidad relativa); Cr (Cobertura relativa) para especies con densidad mayor a 200 individuos/ha y cobertura vegetal mayor a 0.4 m² ha⁻¹.

Tabla 2. Correlaciones de las variables ambientales con los ejes de ordenación uno y dos.

Variable	SPEC AX1	SPEC AX2
ALT	0.574	0.271
PEND	0.131	0.012
EXP	-0.432	0.151
VEREDA	-0.408	0.228
PED	-0.332	-0.099
RME	-0.162	0.253
MO	-0.034	-0.319
HERBCA	0.668	-0.236
EXC	-0.255	-0.189
BASURA	-0.275	0.116
PSTEO	-0.288	0.671
RAM	-0.152	-0.009
DAGUA	-0.611	-0.413
ARE	0.098	-0.022
ARC	-0.076	-0.037

ALT: altitud; PEND: pendiente; EXP: exposición; PED: pedregosidad; RME: roca madre expuesta; MO: materia orgánica; HERBCA: cobertura de herbáceas; EXC: excretas; PSTEO: pisoteo; RAM: ramoneo; DAGUA: distancia al agua; ARE: contenido de arena en el suelo; ARC: contenido de arcilla en el suelo.

Tabla 3. Matriz de correlaciones entre variables ambientales producto del Análisis de Correspondencia Canónica de tipo exploratorio.

Variables	ALT	PEND	EXP	VEREDA	PED	RME	MO	HERBCA
ALT	1							
PEND	0.252	1						
EXP	-0.093	0.276	1					
VEREDA	0.033	0.374	0.539	1				
PED	-0.016	0.131	0.462	0.339	1			
RME	0.194	0.505	0.193	0.441	0.014	1		
MO	-0.392	-0.589	-0.259	-0.668	-0.239	-0.460	1	
HERBCA	0.019	-0.026	-0.419	-0.443	-0.452	-0.528	0.153	1
EXC	-0.498	0.009	0.296	0.192	-0.066	-0.295	-0.050	0.280
BASURA	-0.376	-0.001	0.299	0.309	0.106	-0.193	-0.216	0.171
PSTEO	-0.233	-0.030	0.152	0.419	0.013	0.196	-0.249	-0.341
RAM	-0.336	0.123	0.198	0.180	-0.040	-0.172	-0.243	0.270
DAGUA	-0.593	-0.287	0.124	-0.059	-0.013	-0.007	0.589	-0.350
ARE	-0.099	0.271	-0.257	-0.225	0.089	-0.179	-0.081	0.284
ARC	-0.108	-0.372	0.108	0.044	-0.306	0.074	0.241	-0.147
	EXC	BASURA	PSTEO	RAM	DAGUA	ARE	ARC	
EXC	1							
BASURA	0.684	1						
PSTEO	0.206	0.366	1					
RAM	0.832	0.744	0.303	1				
DAGUA	0.271	-0.016	0.018	-0.026	1			
ARE	0.033	-0.172	-0.124	0.164	-0.202	1		
ARC	0.114	0.154	0.165	-0.093	0.464	-0.642	1	

ALT: altitud; PEND: pendiente; EXP: exposición; PED: pedregosidad; RME: roca madre expuesta; MO: materia orgánica; HERBCA: cobertura de herbáceas; EXC: excretas; PSTEO: pisoteo; RAM: ramoneo; DAGUA: distancia al agua; ARE: contenido de arena en el suelo; ARC: contenido de arcilla en el suelo.

El diagrama de la ordenación entre sitios, variables bióticas y ambientales se muestra en la Figura 3. En él se observa que, al considerar únicamente las variables más importantes, la ubicación en el plano cartesiano de los sitios y las especies se ve modificada, englobando ahora entre su rango de influencia a la mayoría de las especies, lo que puede ser contrastado con la Figura 2, en donde una mayor cantidad de especies quedan fuera al realizar una conexión entre los puntos más extremos de las cuatro variables más importantes. Las variables más importantes en el eje uno fueron la altitud y la distancia del sitio al agua, teniendo entre ellas una relación negativa (-0.5926). Para el eje dos, el pisoteo es la variable más importante. La cobertura de herbáceas se encuentra con una importancia equitativa en ambos ejes. Estas últimas dos variables (pisoteo y cobertura de herbáceas), así como la correlación entre la altitud y la distancia del sitio al agua, también es negativa (-0.3412), sin embargo, no es tan fuerte como en el primer caso. Cada uno de los vectores domina en un cuadrante distinto, siendo insignificante la contribución entre ellas. La distancia al agua y la altitud son las variables ambientales con mayor relación en la distribución de las especies. *Toxicodendron radicans* (L.) Kuntze, *Malvastrum americanum* (L.) Torr *Zanthoxylum fagara* Sarg., *Urtica*

chamaedryoides Pursh y *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, tienen una estrecha relación positiva con la superficie del suelo cubierta por herbáceas, especies que junto a *Adiantum capillus-veneris* L., *Pteris longifolia* L. y *Xanthosoma robustum* Schott, tienen una gran representación en el sitio 20. *Selaginella pilifera* A. Br., *Senegalija berlandieri* (Benth.) Britton & Rose y *Anredera scandens* Sm. tienen una estrecha relación con el pisoteo, siendo el sitio 7 el más representativo de esta variable ambiental y especies. Los sitios 12, 14, 15, 16, 17 y 18 tienen características similares en especies presentes y su relación con las variables ambientales. Resultan pocas las especies a las cuales la cobertura de herbáceas les afecta tanto como sí lo hace la distancia al agua. Las especies *Celtis pallida* Torr., *Chrysactinia truncata* S. Watson, *Quercus polymorpha* Schltdl. & Cham., *Sideroxylon celastrinum* (Kunth) T. D. Penn., *Prunus serotina* Ehrh, *Decatropis bicolor* Radlk. y *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit presentan mayor efecto en su distribución por el pisoteo que por la altitud, distancia al agua o la cubierta de herbáceas. La especie más importante del área, *Quercus rysophylla* Weath. (véase Tabla 1), tiene mayor correlación con la distancia al agua que con las otras tres variables.

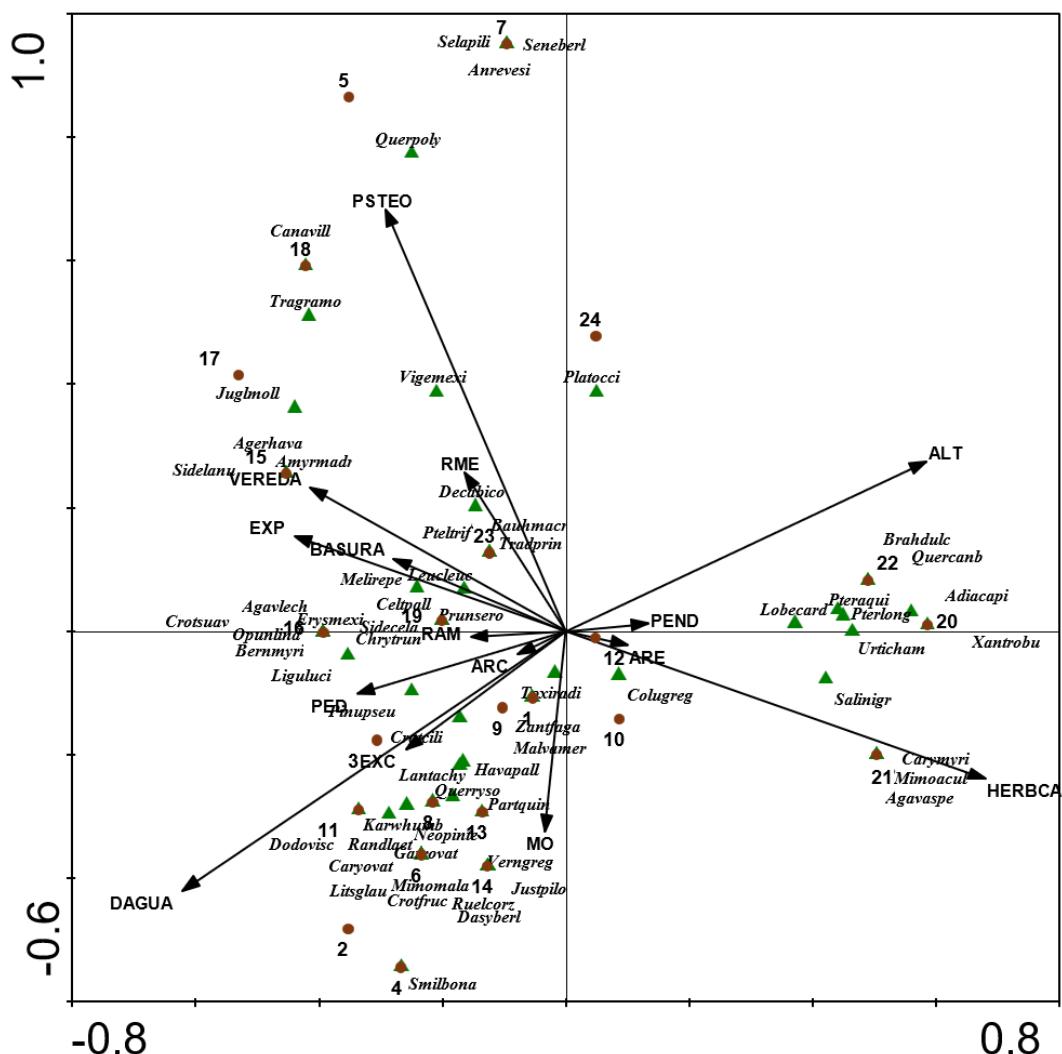


Tabla 4. Resultados del Análisis de Correspondencia Canónica de tipo confirmatorio, mostrando la correlación de las variables ambientales con los ejes uno (horizontal) y dos (vertical).

Variables	SPEC AX1	SPEC AX2	ENVI AX1	ENVI AX2
ALT	0.7805	0.2056	0.8153	0.2191
HERBCA	0.5387	-0.5166	0.5626	-0.5506
PSTEO	-0.2549	0.7845	-0.2630	0.8361
DAGUA	-0.7650	-0.2810	-0.7992	-0.2994

ALT: altitud; HERBCA: cobertura de herbáceas; PSTEO: pisoteo; DAGUA: distancia al agua; SPEC AX1 y AX2: especies eje 1 y 2 respectivamente; ENVI AX1 y AX2: variables ambientales eje 1 y 2 respectivamente

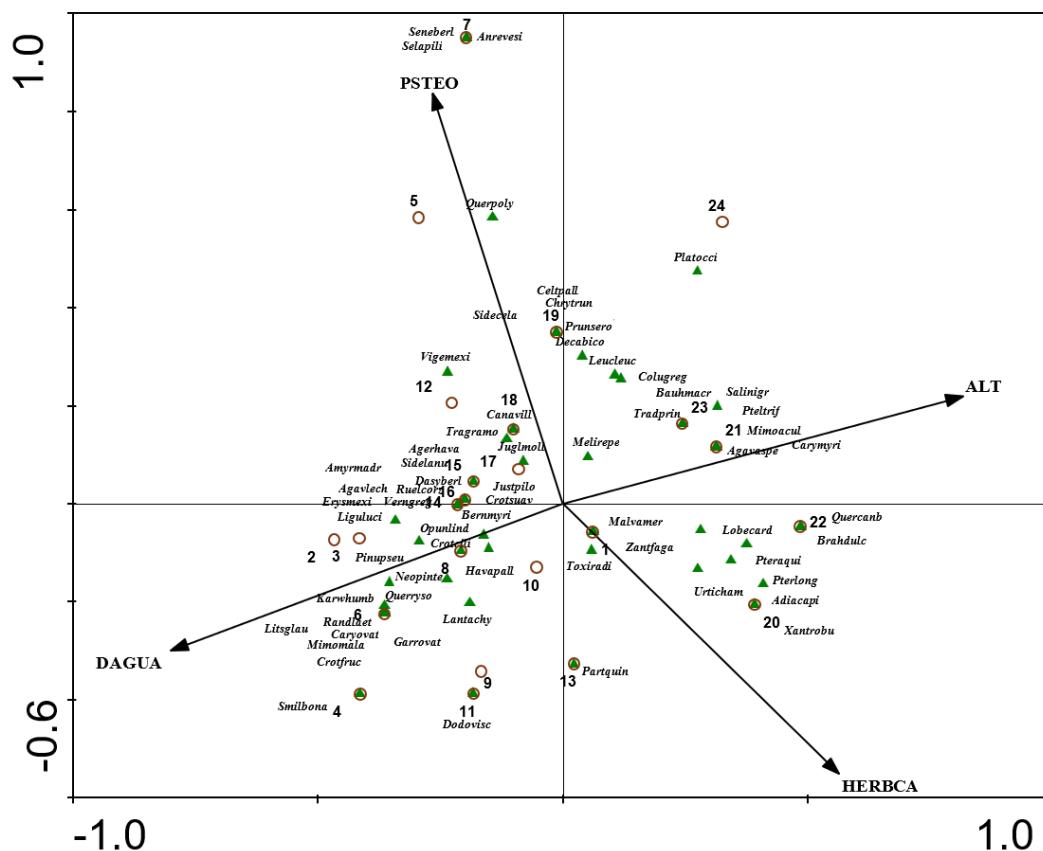


Figura 3. Diagrama de ordenación de ACC confirmatorio con las variables ambientales seleccionadas en el Cañón de Matacanes, Nuevo León, México.

DISCUSIÓN

Riqueza y estructura

El cañón comparte su relación especie/género y especie/familia con los valores obtenidos en el río La Silla Monterrey-Guadalupe (López-Castillo *et al.* 2018) y supera los de Estrada-Castillón *et al.* (2013) para la zona de estudio del PNCM lo que es señal de una mayor diversidad (Magurran 1988).

Las familias con mayor riqueza comparten representación con los estudios de flora de Estrada-Castillón *et al.* (2013) diferenciándose Fabaceae y Euphorbiaceae, siendo mayores en representación de especies que Asteraceae. El género *Quercus* refleja en el estudio la dominancia en la riqueza de especies a los demás géneros que presenta el PNCM de acuerdo con Estrada-Castillón *et al.* (2013). Similar a los resultados de Estrada-Castillón *et al.* (2013) para la Flora and phytogeography of Cumbres de Monterrey National Park, Nuevo León, México, las 12 familias más diversas en el cañón de Matacanes cuentan con más del 50% de las especies registradas apoyando a la idea de que los cañones son reservorios de alta riqueza en especies, comunes y raras (Enright *et al.* 2005). La riqueza florística de este estudio es muy afín a la registrada en la Sierra de Zapalinamé (Encina-Domínguez *et al.* 2008), 50 familias 90 géneros 104 especies (Matacanes) y 37 familias, 60 géneros y 73 especies (Zapalinamé, en ambas áreas destacan las familias Asteraceae, Poaceae, Fabaceae y Lamiaceae. Áreas afines en relieve de cañón y similitudes en la vegetación al cañón de Matacanes son barrancas El Conde y Malinalli (Puebla) con dominancia de encinares, estas áreas también ostentan una rica diversidad con 40 familias, 81 géneros y 105 especies de plantas vasculares (Gutiérrez-Pacheco *et al.* 2021), donde predominan especies de las familias Asteraceae, Fabaceae y Fagaceae. Ambas áreas se caracterizan por prestar servicios ecosistémicos a la población aledaña y están sujetas a fuerte presión antropogénica. Los encinares de la Sierra de Zapalinamé (Encina-Domínguez *et al.* 2009) ostentan una rica diversidad, afín a la encontrada en el Cañón de Matacanes y en general para el Parque Nacional Cumbres de Monterrey, englobando un total de 67 familias, 178 géneros y 259 especies de plantas vasculares, donde destacan por su diversidad las familias Asteraceae, Poaceae y Lamiaceae.

Se amplía el compendio florístico comprendido dentro del PNCM (Estrada-Castillón *et al.* 2013) con dos nuevas familias: Arecaceae con *Brahea dulcis* (Kunth) Mart.; y Dennstaedtiaceae con *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn. Las especies *Abutilon malacum* S. Watson, *Anemia mexicana* Klotsch, *Citharexylum brachyanthum* (A. Gray ex Hemsl.) A. Gray, *Citrus limon* (L.) Osbeck, *Croton cortesianus* Kunth, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Ligustrum lucidum* W. T. Aiton, *Mimosa aculeaticarpa* Ortega, *Rhus trilobata* Nutt., *Salvia tiliifolia* Vahl, *Sideroxylon celastrinum* (Kunth) T. D. Penn., *S. lanuginosum* Michx., *Smilax domingensis* Willd., y *Vachellia schaffneri* (S. Watson) Seigler & Ebinger son también nuevas incorporaciones, con familiares preexistentes en los registros (Estrada-Castillón *et al.* 2013). Más del 15% de las especies analizadas son nuevas inclusiones.

Forma vegetal

Es interesante notar que independientemente de la distancia de localidades, muchas veces la altitud y clima regionales influyen en la vegetación y formas biológicas de las especies, ese es el mismo caso de Matacanes y barrancas El Conde y Malinalli (Puebla), donde las herbáceas, seguidas por las especies arbóreas presentan mayor riqueza especies seguidas por las arbustivas (Gutiérrez-Pacheco *et al.* 2021).

IVi

El análisis de valor de importancia de las especies nos refleja una estructura compleja en el ecosistema con especies que reflejan un bajo nivel de disturbio como lo son *A. capillus-veneris* L. y *P. longifolia* L. características de lugares de alta humedad (O 2023). Sin embargo, la dominancia que presenta *T. radicans* (L.) Kuntze es un aspecto preocupante ya que está relacionada con régimen

de disturbios (Mohan *et al.* 2008). El estudio de sus poblaciones puede ayudar a la comprensión del estado de estos ecosistemas.

Análisis de Correspondencia Canónica exploratorio y confirmatorio

El diagrama del ACC confirmatorio cumple su función sintetizadora de los resultados (ter Braak y Verdonschot 1995) demostrando la relevancia para describir la distribución de las especies vegetales dentro del cañón que tienen las variables: pisoteo, distancia al agua, cobertura de herbáceas y altitud. Esto conjunta los casos de aplicación de ter Braak (1987) y ter Braak y Verdonschot (1995) para análisis de la vegetación y ecosistemas acuáticos, respectivamente y se une a los múltiples casos de uso de ACC para la ecología (Harahap *et al.* 2021, Sekulić *et al.* 2021, Ghelichnia y Mirdavoodi 2023, Pal *et al.* 2024). Estudios como el de Olvera-Vargas *et al.* (2010) y Rahman *et al.* (2022) muestran la robustez del uso del ACC con múltiples variables ambientales en la descripción de las influencias ambientales en ecosistemas de bosque templado y cierta similitud en la selección de variables con nuestro estudio. Mientras que los resultados de Rahman *et al.* (2022), con respecto a la pendiente, contrastan altamente con nuestros datos obtenidos, encontramos similitudes en la importancia de la disponibilidad de agua y las interacciones entre el género *Quercus* y *Adiantum*. Los datos obtenidos por este estudio coinciden con los de Enright *et al.* (2005) que establece un precedente para la importancia de la distancia al agua sobre otras variables aquí tomadas (textura del suelo, pedregosidad y roca madre).

Así mismo, se comparte el comportamiento visto por Huang *et al.* (2015) donde los sitios con mayor presencia de pisoteo ven una mayor reducción en la cobertura de herbáceas, una grave disminución en la materia orgánica del suelo, una diferencia en la presencia de especies entre los sitios con caminos y, en su caso, los sitios de control. La condiciones climáticas y orográficas del Monte Dragón de Jade contrastan notoriamente con el cañón de Matacanes lo que indica una problemática de disturbios relacionada a los usos recreativos y su infraestructura que traspasa fronteras. Sin embargo, la comparativa de impacto deja en evidencia una falta en la gestión del cañón de Matacanes, ya que todos los caminos son informales. Aunque una metodología como la aplicada por Huang *et al.* (2015) sería complicada por la imposibilidad en muchos sitios de alejarse perpendicularmente del camino a más de 10 metros para obtener un sitio de control debido a la verticalidad del cañón, existen áreas en donde múltiples veredas están disponibles. Estas veredas varían en su cercanía al agua, pedregosidad e inclinación, lo que modifica la vegetación presente. Este factor resulta importante para la consideración de establecimiento de caminos de menor impacto ecológico con especies de menor vulnerabilidad, como bien lo explica Pescott *et al.* (2014), ya que influencia más el tipo de vegetación presente que la misma intensidad de pisoteo a la regeneración y resiliencia de las plantas.

Aunado a esto, la presencia de ramoneo y excretas debe de dirigir las preocupaciones junto con las de Keeley *et al.* (2003) y otros autores (Asmare 2018) a las zonas impactadas por actividad ganadera de baja intensidad en cualquiera de sus modalidades en zonas de bosque templado. Keeley *et al.* (2003) demostraba que estos sitios, aun cuando se liberan de la carga del pastoreo por períodos centenarios, no quedan libre del impacto que este trajo reflejándose en especies invasoras, siendo mayor la riqueza de estas en el estrato bajo. Esta información deja claro que el cañón de Matacanes

tiene evidencia de impacto antrópico ya sea por el visitante en búsqueda de actividades recreacionales o los habitantes del ejido y su forma de vida.

Limitaciones de la metodología

Cabe mencionar aspectos limitantes en la metodología de este estudio como lo es, principalmente, la orografía, la cual disminuye el ancho del cañón en las zonas más altas del recorrido, imposibilitando el establecimiento de sitios a una distancia mayor a 10 m del cauce del río. Esto se ve reflejado en la correlación negativa entre la distancia al agua y la altitud (tabla 4), pudiendo explicar la relevancia de esta última como variable determinante. Este hecho resulta contraintuitivo para la distribución de las especies una vez se considera el rango de altitudes de este trabajo (720-878 msnm) en contraste con el rango de Estrada-Castillón *et al.* (2015) (3300 m.s.n.m.)

La geomorfología del cañón presenta tal heterogeneidad que, en las zonas altas antes mencionadas, los espacios para el establecimiento de las especies vegetales se encuentran únicamente en las paredes, cambiando a vegetación rupícola de acantilados. Aquí también circunda el visitante y tiene contacto con las formas biológicas del sitio, por lo que una adaptación de la metodología usada por Morales-Armijo *et al.* (2024) para el estudio de la vegetación de acantilados podría enriquecer el conocimiento sobre estos ecosistemas. Otro aspecto es la estacionalidad, ya que se tomaron los datos en temporada de poca lluvia y alta afluencia de visitantes. Este aspecto puede ser enriquecido con un análisis previo al inicio de temporada de actividades en el cañón, siendo este en abril.

CONCLUSIONES

El análisis de ordenación es una herramienta eficaz para conocer los patrones de distribución de la vegetación y su relación con las diferentes variables ambientales. La presencia de especies nativas sobre las exóticas, indica un estado de conservación adecuado del cañón de Matacanes. Siendo parte de un área natural protegida, esta área debe ser analizada posteriormente para ver si los efectos del calentamiento global están afectando, o pueden afectar, en el futuro cercano la conformación de la vegetación con el aumento de especies exóticas en sus diferentes asociaciones vegetales. En un futuro se pueden realizar este tipo de investigaciones ecológicas en cañones del área similares, para comparar si el estado de la vegetación permanece relativamente homogéneo o es transformada debido al efecto antropogénico, especialmente por excursionistas y paseantes que hacen uso de este recurso natural como fuente de esparcimiento. Este estudio tiene el valor de subrayar la importancia del estudio de vegetación de cañones con actividades de turismo de aventura en el estado de Nuevo León y brindar una primera perspectiva que agilice la decisión de toma de variables más importantes en este tipo de ecosistemas.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Akira SM, Shiono T, Koide D, Kitagawa R, Ota AT, Mizumachi E (2013) Community assembly processes shape an altitudinal gradient of forest biodiversity. *Global Ecology and Biogeography* 22: 878-888. <https://doi.org/10.1111/geb.12058>
- Alanís-Rodríguez E, Jiménez-Pérez J, Mora-Olivo A, Martínez-Ávalos JG, Mata-Balderas JM, Chávez-Costa AC, Rubio-Camacho EA (2015) Estructura y diversidad del matorral submontano contiguo al Área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. *Acta Botánica Mexicana* 113: 1-19.
- Alanís-Rodríguez E, Mora-Olivo A, Marroquín-de la Fuente J (2020) Muestreo ecológico de la vegetación. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México. 204p.
- Asmare B (2018). Ecological and socio-economic implications of free grazing in Ethiopia: A Review. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences* 3(2).
- Baraza E, Valiente-Banuet A (2008) Seed dispersal by domestic goats in semiarid thornscrub of Mexico. *Journal of Arid Environments* 72(10): 1973-1976. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.04.004>
- Barbhuiya AS (2025) Prospects of adventure tourism in selected regions of Assam in a sustainable & ecological Way. *International Journal of Global Research Innovations & Technology* 3(2): 15-22. <https://doi.org/10.62823/IJGRIT/03.02.7392>
- Barros A, Pickering CM (2014) Non-native plant invasion in relation to tourism use of Aconcagua Park, Argentina, the highest protected Area in the Southern Hemisphere. *Mountain Research and Development* 34(1): 13-26. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-13-00054.1>
- Brower JE, Zar JH, von Ende CN (1997) Field and laboratory methods for general ecology. McGraw-Hill. New York, USA. 273p.
- Burton J, Mladenoff DJ, Clayton MK, Forrester JA (2011) The roles of environmental filtering and colonization in the fine-scale spatial patterning of ground-layer plant communities in north temperate deciduous forests. *Journal of Ecology* 99: 764-776.
- Ceballos-Lascuráin H (1998) Ecoturismo: Naturaleza y desarrollo sostenible. Editorial Diana. Ciudad de México, México.
- CONANP (2021) Programa de manejo Parque Nacional Cumbres de Monterrey. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5676308&fecha=03/01/2023#gsc.tab=0. Fecha de consulta: 6 marzo 2025.
- Daubenmire RF (1968) Plant communities: A textbook of plant synecology. Harper & Row. New York, USA. 300p.
- Encina-Dominguez JA, Encina-Domínguez FJ, Mata-Rocha E, Valdés-Reyna J (2008) Aspectos estructurales, composición florística y caracterización ecológica del bosque de oyamel de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 83: 13-24. <https://doi.org/10.17129/botscli.1785>
- Encina-Domínguez JA, Zárate-Lupercio A, Estrada-Castillón E, Valdés-Reyna J, Villarreal-Quintanilla JA (2009) Composición y aspectos estructurales de los bosques de encino de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Acta Botanica Mexicana* 86: 71-108. <https://doi.org/10.21829/abm86.2009.1078>
- Enright NJ, Miller BP, Akhter R (2005) Desert vegetation and vegetation-environment relationships in Kirthar National Park, Sindh, Pakistan. *Journal of Arid Environments* 61(3): 397-418. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.09.009>
- Estrada-Castillón E, Arévalo JR, Villarreal-Quintanilla JA, Salinas-Rodríguez MM, Encina-Domínguez JA, González-Rodríguez H, Cantú-Ayala CM (2015) Classification and ordination of main plant communities along an altitudinal gradient in the arid and temperate climates of northeastern Mexico. *The Science of Nature* 102(7-8): 59. <https://doi.org/10.1007/s00114-015-1306-3>

- Estrada-Castillón E, Villarreal-Quintanilla JA, Salinas-Rodríguez MM, Rodríguez-González H, Jiménez-Pérez J, García-Aranda MA (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. <http://www.jstor.org/stable/24621163>
- Faison E, DeStefano S, Foster D, Motzkin G, Rapp J (2016) Ungulate browsers promote herbaceous layer diversity in logged temperate forests. *Ecology and Evolution* 6(13): 4591-4602. <https://doi.org/10.1002/ece3.2223>
- Genç R (2021) Adventure Tourism in Nepal Himalayas: Environmental Effects. *Journal of Tourism & Adventure* 4(1): 47-57. <https://doi.org/10.3126/jota.v4i1.40638>
- Ghelichnia H, Mirdavoodi H (2023) The study of habitats properties and response pattern of (*Chaerophyllum macropodium* Boiss.) to environmental factors by using Canonical Correspondence Analysis (CCA) and Generalized Additive Model in rangelands of Mazandaran province. *Journal of Plant Ecosystem Conservation* 11(22): 143-159.
- Gutiérrez-Pacheco V, Silva-Gómez SE, Varela-Olgún LL (2021) Flora del bosque de encino (*Quercus: Fagaceae*) de dos barrancas de la ciudad de Puebla, México. *Madera y Bosques* 27(1): e2712113. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712113>
- Harahap A, Mahadewi EP, Ahmadi D, Tj HW, Ganiem LM, Rafika M, Hartanto A (2021) Monitoring of macroinvertebrates along streams of Bilah River, north Sumatra, Indonesia. *International Journal of Conservation Science* 12(1): 247-258.
- Huamantupa-Chuquimaco I, Martinez Trujillo YL, Orosco Ucamayta E (2023) Valuation of the diversity of native plants and the cultural-archaeological richness as an integrative approach for a potential use in ecotourism in the Inter-Andean Valley of Cusco, Southern Peru. *Diversity* 15(6): 760. <https://doi.org/10.3390/d15060760>
- Huang X, Sheng Z, Zhang Y, Ding J, He K (2015) Impacts of trails on plants, soil and their interactions in the subalpine meadows of Mount Jade Dragon, Northwestern Yunnan of China. *Grassland Science* 61: 204-216. <https://doi.org/10.1111/grs.12100>
- Hutchinson GE (1959) Homage to Santa Rosalia or why are there so many kinds of animals? *The American Naturalist* 93(870): 145-159. <https://doi.org/10.1086/282070>
- INEGI (1990) Conjunto de datos vectoriales del Continuo Nacional. Efectos climáticos regionales (mayo-octubre) Monterrey, escala 1:250,000.
- INEGI (2013) Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación, escala 1:250 000, serie V, Conjunto Nacional Monterrey G14-7.
- INEGI (2015) Conjunto de datos vectoriales de información topográfica G14C24 Ramos Arizpe, escala 1:50 000, serie III.
- Janowski I, Gardiner S, Kwek A (2021) Dimensions of adventure tourism. *Tourism Management Perspectives* 37: 100776. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2020.100776>
- Jiménez-Bulla LH (2009) Ecoturismo: Oferta y desarrollo sistémico regional. Ecoe Ediciones. Bogotá, Colombia. 144p.
- Keeley JE, Lubin D, Fotheringham CJ (2003) Fire and grazing impacts on plant diversity and alien plant invasions in the southern Sierra Nevada. *Ecological Applications* 13(5): 1355-1374. <https://doi.org/10.1890/02-5002>
- Körner C (1994) Scaling from species to vegetation: The usefulness of functional groups. In: Schulze E, Mooney HA (eds) *Biodiversity and ecosystem function*. Springer. Berlin, Germany. pp. 117-140. https://doi.org/10.1007/978-3-642-58001-7_6
- López-Castillo GI, Alanís-Flores GJ, Favela-Lara S, Torres-Morales M (2018) Diversidad de la vegetación del río La Silla Monterrey-Guadalupe, Nuevo León. *Ciencia UANL* 21(89): 1-13. <https://doi.org/10.29105/cienciauanl21.89-1>

- Magurran AE (1988) Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press. Princeton, USA. 179p.
- Mligo C, Lyaruu HVM (2008) The impact of browsing and grazing pressure on vegetation community, composition and distribution pattern in Ikona Wildlife management area, Western Serengeti, Tanzania. Botany Research Journal 1: 1-8. <https://doi.org/10.36478/brj.2008.1.8>
- Mohan JE, Ziska LH, Thomas RB, Sicher RC, George K, Clark JS, Schlesinger WH (2008) Biomass and toxicity responses of poison ivy (*toxicodendron radicans*) to elevated atmospheric CO₂: reply. Ecology 89(2): 585-587. <https://doi.org/10.1890/07-0660.1>
- Morales-Armijo F, Sobrevilla-Covarrubias A, Estrada-Castillón E, Escudero A, Scheepens JF, Lorite J, March-Salas M (2024) Climbing route development affects cliff vascular plants more than subsequent climbing: A guide to evidence-based conservation management to regulate climbing. Journal of Applied Ecology 61(11): 2679-2689. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14785>
- Mueller-Dombois D, Ellenberg H (1974) Aims and methods of vegetation ecology. Wiley. New York, USA. 547p.
- O RA (2023) Photophysiology, dark respiration and leaf desiccation resilience of the fern *Adiantum capillus-veneris* L. Journal of Ecology and The Natural Environment 15(1): 1-8. <https://doi.org/10.5897/JENE2023.0947>
- Olvera-Vargas M, Figueroa-Rangel BL, Vázquez-López JM (2010) Is there environmental differentiation in the *Quercus*-dominated forests of west-central Mexico? Plant Ecology 211(2): 321-335. <https://doi.org/10.1007/s11258-010-9792-z>
- Pal R, Banyal HS, Sharma S (2024) Assessment of diversity and status of fish fauna in relation to physicochemical parameters with special focus on Canonical Correspondence Analysis from Son stream, district Mandi, Himachal Pradesh, India. Journal of Experimental Zoology India 27(1): 555-561. <https://doi.org/10.51470/JEZ.2024.27.1.555>
- Pescott OL, Stewart GB (2014) Assessing the impact of human trampling on vegetation: A systematic review and meta-analysis of experimental evidence. PeerJ 2: e360. <https://doi.org/10.7717/peerj.360>
- Plaza PI, Lambertucci SA (2017) How are garbage dumps impacting vertebrate demography, health, and conservation? Global Ecology and Conservation 12: 9-20. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.08.002>
- Rahman A, Khan N, Bräuning A, Ullah R, Rahman IU (2022) Effects of environmental and spatial gradients on *Quercus*-dominated Mountain forest communities in the Hindu-Kush ranges of Pakistan. Saudi Journal of Biological Sciences 29(4): 2867-2877. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.01.013>
- Ribichich AM, de Casenave JL (1998) La ecología en Argentina: ¿Qué y cómo investigan los ecólogos argentinos? Mitos y realidades entre el atraso y el desarrollo. Interciencia 23(5): 280-285.
- Schirn A (2023) Adventure tourism-ANSI Blog. The ANSI Blog. <https://blog.ansi.org/adventure-tourism/>. Fecha de consulta: 5 de marzo de 2025.
- SECTUR (2022) Indicadores estratégicos de turismo Nuevo León, septiembre 2022. <https://www.nl.gob.mx/es/publicaciones/indicadores-estrategicos-de-turismo-nuevo-leon-septiembre-2022>. Fecha de consulta: 30 de octubre de 2022.
- Sekulić D, Karadžić B, Kuzmanović N, Jarić S, Mitrović M, Pavlović P (2021) Diversity of *Ostrya carpinifolia* forests in ravine habitats of Serbia (S-E Europe). Diversity 13(2): 59. <https://doi.org/10.3390/d13020059>
- Siebe C, Jahn R, Stahr K (2016) Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. 3a ed. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México. 58p.
- ter Braak CJF (1986) Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. Ecology 67: 1167-1179. <https://doi.org/10.2307/1938672>
- ter Braak CJF (1987) The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis. Vegetatio 69: 69-77. <https://doi.org/10.1007/BF00038688>

- ter Braak CJF, Šmilauer P (2002) CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: Software for canonical community ordination (Version 4.5). Microcomputer Power. www.canoco.com. <https://edepot.wur.nl/405659>. Fecha de consulta: 30 de octubre de 2022.
- ter Braak CJF, Verdonschot PFM (1995) Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. Aquatic Sciences 57(3): 255-289. <https://doi.org/10.1007/BF00877430>
- Villarreal Quintanilla JA, Estrada-Castillón E (2008) Flora de Nuevo León. 1a ed. Inst. de Biología, Univ. Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México. 153p.
- UNWTO (2014) Global report on adventure tourism. <https://doi.org/10.18111/9789284416622>. Fecha de consulta: 13 de mayo de 2025.
- Zeng Y, Zhao C, Li J, Li Y, Lv G, Liu T (2019) Effect of groundwater depth on riparian plant diversity along riverside-desert gradients in the Tarim River. Journal of Plant Ecology 12(4): 564-573. <https://doi.org/10.1093/jpe/rty048>