

Revista Cubana de Ciencias Forestales

Volumen 14, 2026, enero-diciembre



Análisis socioeconómico y ambiental de ecosistemas forestales restaurados en la cuenca del río Nazas, México

Socioeconomic and environmental analysis of restored forest ecosystems in the Nazas River basin, Mexico

Análise socioeconômica e ambiental de ecossistemas florestais restaurados na bacia do rio Nazas, México

Gabriel Graciano-Ávila¹ , Benedicto Vargas-Larreta^{1*} , Raymundo Ortega-Lugo¹ ,
Eduardo Alanís-Rodríguez² , Prudencia Caballero-Cruz³ 

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de El Salto. Mesa del Tecnológico, 101, La Forestal, C.P. 34942. El Salto, Pueblo Nuevo, Durango, México.

²Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Carretera Linares-Cd. Victoria km 145, Apartado Postal 41, C.P. 67700. Linares, Nuevo León, México.

³Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de San Miguel El Grande. Km. 1,2 carretera a la comunidad de Morelos, C.P. 71140. San Miguel El Grande, Tlaxiaco, Oaxaca, México.

*Autor de correspondencia: vlbene@gmail.com

Recibido: 06/03/2025.

Aprobado: 25/01/2026



RESUMEN

Se evaluó el impacto social, económico y ambiental de las actividades de restauración y conservación de suelos implementadas en bosques de la cuenca alta del río Nazas en Durango, México. Para analizar los aspectos económico y social, se aplicó una encuesta a la población mayor de 15 años, que incluyó información general de la población, conocimientos sobre conservación y restauración, percepción social y percepción económica. Mediante un análisis multitemporal de imágenes satelitales (2009, 2016 y 2023), se examinaron los cambios en el uso de suelo y vegetación, estimando tasas de cambio para los periodos 2009-2016, 2016-2023 y 2009-2023. Adicionalmente, se calcularon el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), el índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) y el índice de diferencia normalizada de humedad (NDMI). Los resultados indican que la población posee conocimientos sobre conservación y restauración de bosques, y que su participación se enfoca en las actividades de implementación de los proyectos; asimismo, existe una percepción de beneficio económico derivado de los proyectos. El bosque de pino registró la mayor superficie en los tres años analizados, mientras que el bosque de encino presentó los mayores niveles de degradación. El suelo desnudo disminuyó. Los índices de vegetación reflejaron baja cobertura vegetal y estrés hídrico. El presente estudio contribuye al entendimiento del impacto de obras de conservación y restauración en suelos de bosques templados de México.

Palabras clave: bosques templados, conservación, degradación, obras de conservación y restauración de suelo, percepción económica, percepción social.

ABSTRACT

The social, economic, and environmental impact of soil restoration and conservation activities implemented in forests of the upper Nazas River basin in Durango, Mexico, was evaluated. To analyze the economic and social aspects, a survey was administered to the population over 15 years of age, which included general population information, knowledge about conservation and restoration, social perceptions, and economic perceptions. Through a multi-temporal analysis of satellite images (2009, 2016, and



2023), changes in land use and vegetation were examined, estimating rates of change for the periods 2009–2016, 2016–2023, and 2009–2023. Additionally, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), and the Normalized Difference Moisture Index (NDMI) were calculated. The results indicate that the population possesses knowledge about forest conservation and restoration, and that their participation is focused on project implementation activities. Furthermore, there is a perception of economic benefit derived from the projects. The pine forest registered the largest area in the three years analyzed, while the oak forest showed the highest levels of degradation. Bare soil decreased. Vegetation indices reflected low vegetation cover and water stress. This study contributes to the understanding of the impact of conservation and restoration projects on temperate forest soils in Mexico.

Keywords: temperate forests, conservation, degradation, soil conservation and restoration projects, economic perception, social perception.

RESUMO

O impacto social, econômico e ambiental das atividades de restauração e conservação do solo implementadas nas florestas da bacia hidrográfica do alto rio Nazas, em Durango, México, foi avaliado. Para analisar os aspectos econômicos e sociais, foi aplicado um questionário à população com mais de 15 anos de idade, que incluiu informações gerais sobre a população, conhecimento sobre conservação e restauração, percepções sociais e percepções econômicas. Por meio de uma análise multitemporal de imagens de satélite (2009, 2016 e 2023), foram examinadas as mudanças no uso da terra e na vegetação, estimando-se as taxas de mudança para os períodos de 2009–2016, 2016–2023 e 2009–2023. Adicionalmente, foram calculados o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e o Índice de Umidade por Diferença Normalizada (NDMI). Os resultados indicam que a população possui conhecimento sobre conservação e restauração florestal e que sua participação está voltada para as atividades de implementação dos projetos. Além disso, há uma percepção de benefício econômico derivado dos projetos. A floresta de pinheiros registrou a maior área nos três anos analisados, enquanto a floresta de carvalhos apresentou os maiores níveis de degradação. A área de solo exposto diminuiu. Os



índices de vegetação refletiram baixa cobertura vegetal e estresse hídrico. Este estudo contribui para a compreensão do impacto de projetos de conservação e restauração em solos de florestas temperadas no México.

Palavras-chave: florestas temperadas, conservação, degradação, projetos de conservação e restauração do solo, percepção econômica, percepção social.

INTRODUCCIÓN

La disminución de la cobertura forestal está ligada a la pérdida y degradación de suelo y disminución de los servicios ambientales. El nivel de degradación del suelo está asociado a factores de disturbio y ambientales; por ejemplo, tipo de suelo, topografía, clima, deforestación, sobrepastoreo, densidad poblacional, tipo de vegetación y estado de la cobertura vegetal (Montero-Torres 2023). Actualmente, uno de los problemas más graves a nivel mundial es la erosión del suelo, ocasionada por el movimiento de partículas, causando la pérdida progresiva de suelo y nutrientes (Castelán-Vega *et al.*, 2019). Dicha degradación contribuye a la deforestación de los bosques, dando origen a procesos de desertificación y alteración de los ciclos hidrológicos, produciendo una disminución de la capacidad productiva de los ecosistemas a nivel mundial (Meaza-Rodríguez y Laguna-Lumbreras 2022).

En las cuencas de los ríos de México, la pérdida y transformación de la cobertura original del suelo son problemas persistentes que afectan el ciclo hidrológico, favorecen la deforestación e incrementan la incidencia de incendios forestales. Estos cambios conllevan un reemplazo significativo de la cobertura vegetal. La combinación de factores antropogénicos y naturales intensifica estos impactos negativos, amenazando la diversidad biológica y la sustentabilidad de las comunidades (Gándara *et al.*, 2021). En Durango, México, se encuentra la cuenca hidrográfica del río Nazas, una cuenca endorreica del norte del país que tiene su origen en la Sierra Madre Occidental, un importante corredor biológico para especies boreales y una de las regiones con mayor cobertura de bosques templados. Esta cuenca proporciona múltiples servicios ambientales esenciales para el bienestar humano. En particular, su parte alta aporta 89 % del volumen total de agua que abastece a la Comarca Lagunera, satisfaciendo las



necesidades hídricas del área metropolitana de Torreón, México (Revenga y Nilsson 2000).

Históricamente, en la parte alta de la cuenca se han realizado actividades forestales, mineras y agropecuarias, las cuales han generado impactos ambientales significativos en el ecosistema (Cabral-Alemán *et al.*, 2021). Para mitigar la degradación ambiental, se han implementado diversos programas de conservación y recuperación de suelos y agua en terrenos agrícolas, ganaderos y forestales, promovidos por la Comisión Nacional Forestal, a través del Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) y el Fondo Metropolitano de La Laguna (Peláez-Mora *et al.*, 2022). En este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar, desde una perspectiva socioeconómica y ambiental, las obras de conservación y restauración de suelos realizadas en los bosques templados de la Cuenca Alta del Río Nazas, Durango, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se desarrolló en el área denominada Mi Patria es Primero, que abarca una superficie de 5 696,46 ha, conformada por el ejido del mismo nombre (4 877,74 ha) y el predio particular Laguna (818,72 ha). Se localiza en el suroeste del estado de Durango, en el macizo montañoso de la Sierra Madre Occidental, en el noroeste de México. Su localización dentro de la cuenca del río Nazas es estratégica, ya que en ella nace el río Santiago, el cual se une posteriormente al río Sextín para formar, aguas abajo, el río Nazas.

Mi Patria es Primero se encuentra entre los paralelos 24° 05' 45" de latitud norte y 105° 08' 26" de longitud oeste (Figura 1), con una elevación promedio sobre el nivel del mar de 2 500 m. Los tipos predominantes en la zona corresponden a Cambisol, Litosol y Regosol, mientras que la roca predominante es de origen ígneo extrusivo ácido. El clima es templado-frío, con una precipitación media anual de 1 200 mm y una temperatura media anual de 18 °C (INEGI 2009). La vegetación está compuesta principalmente por formaciones naturales de bosques de pino y pino-encino.



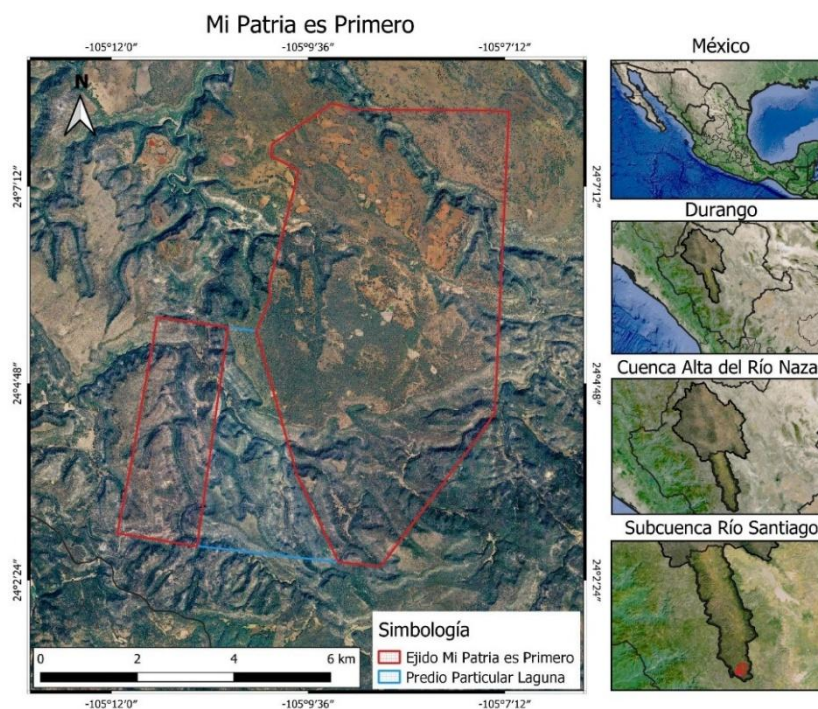


Figura 1.- Localización del área de estudio

La población actual en las comunidades del área de estudio es de 51 habitantes, de los cuales 30 son hombres y 21 mujeres. Las principales actividades económicas en la zona incluyen la agricultura, la ganadería y el aprovechamiento forestal (INEGI 2020). Existen registros de trabajos de conservación y restauración de suelos en el área. Aunque no se dispone de datos exactos sobre superficies y cantidades de obras realizadas, la evidencia documental indica que las principales obras de conservación y restauración realizadas incluyeron barreras de piedra en curvas de nivel, presas filtrantes, reforestaciones, actividades de prevención de incendios forestales y acordonamientos de material vegetal muerto (Peláez-Mora *et al.*, 2022).

Análisis socioeconómico

El análisis social y económico fue de carácter descriptivo con un enfoque mixto, dado que las variables estudiadas incluían tanto datos cuantitativos como cualitativos. El trabajo en campo se realizó mediante una entrevista estructurada basada en un cuestionario mixto, esto es, preguntas cerradas para la obtención de información cuantitativa y preguntas abiertas para la evaluación de aspectos cualitativos. La población objetivo se conformó por los habitantes mayores de 15 años residentes del área



de estudio. Dado que la totalidad de la población fue accesible, se encuestaron 30 personas (17 ejidatarios y 13 avendados), por lo que se obtuvieron datos sin necesidad de aplicar un proceso de muestreo.

Inicialmente, se realizó un sondeo preliminar mediante recorridos en el área de estudio para establecer contacto con informantes clave, como autoridades locales y personas que han participado en acciones de conservación y restauración de suelos. Este proceso facilitó la recolección de información primaria y permitió llevar a cabo una prueba piloto con cinco entrevistas, con el fin de ajustar preguntas si era necesario e identificar el perfil de los entrevistados. El cuestionario mixto final se estructuró en cuatro secciones: información general de los entrevistados, conocimientos sobre conservación y restauración de suelos, aspectos sociales y aspectos económicos. La información recabada fue codificada y sistematizada para su análisis mediante estadísticos descriptivos en SPSS. Para la ejecución del trabajo de campo, se contó con la autorización de los representantes de la comunidad (presidente del comisariado ejidal y jefe de cuartel), así como con el consentimiento previo e informado de cada una de las personas entrevistadas.

Análisis ambiental

Este análisis se desarrolló en Google Earth Engine (GEE 2024). Se utilizaron tres imágenes satelitales del área de estudio, correspondientes a los años 2009, 2016 y 2023, pertenecientes al periodo de estiaje y con una cobertura de nubosidad inferior al 5 % (Tabla 1). Las imágenes fueron obtenidas del sitio web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS 2024).

Tabla 1.- Imágenes satelitales Landsat de los años 2009, 2016 y 2023

Identificador de imagen	Fecha	Satélite
LT5_L1T/LT50310432009068EDC00	09/03/2009	LANDSAT 5
LC8_L1T/LC80310432016072LGN00	12/03/2016	LANDSAT 8
LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_031043_20230417	17/04/2023	LANDSAT 8



A cada imagen se le aplicó una corrección atmosférica y se recortó utilizando como referencia el polígono del área de estudio. Posteriormente, se realizó una clasificación supervisada mediante el algoritmo Random Forest (RF), seleccionando píxeles representativos como muestras de entrenamiento para cada una de las diez clases predefinidas de uso de suelo y vegetación: agricultura, asentamientos humanos, bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque de pino, bosque de pino-encino, matorral, pastizal, cuerpos de agua y suelo desnudo. El algoritmo RF, basado en aprendizaje automático, combina el resultado de múltiples árboles de decisión para llegar a un único resultado y mejorar la precisión de la clasificación (Breiman 2001). La cantidad y tamaño de las muestras de entrenamiento se determinaron en función de la disponibilidad de píxeles para cada clase.

La precisión de la clasificación se evaluó con los índices de exactitud general y Kappa (Cohen 1960). Valores cercanos a uno en el índice de exactitud general indican una mayor precisión de la clasificación. En el caso del índice Kappa, que mide la concordancia entre la clasificación y el terreno, la precisión se clasifica en tres niveles: fuerte (0,80-1,0), moderada (0,40-0,80) y pobre (0,0-0,40).

Además, se determinó la tasa de cambio anual (δ_n), expresada en porcentaje de la cobertura, para cada clase de cobertura en los periodos 2009-2016, 2016-2023 y 2009-2023, para lo cual se utilizó la Ecuación 1, modificada por (Palacio-Prieto *et al.*, 2004).

$$\delta_n = \left(\left[\frac{S_2}{S_1} \right]^{\frac{1}{n}} - 1 \right) * 100 \quad (1)$$

Donde: S_1 es la superficie de la fecha 1, S_2 es la superficie de la fecha 2 y n es el número de años entre las dos fechas.

Se calcularon tres índices de vegetación para analizar las propiedades espectrales de la vegetación y la dinámica funcional de los ecosistemas (Bora y Bora 2023): el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), el índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) y el índice de diferencia normalizada de humedad (NDMI). El NDVI presenta valores en un rango de -1 a 1, donde los valores cercanos a 1 indican una elevada actividad fotosintética, mientras que valores negativos reflejan una actividad fotosintética baja y una cobertura vegetal escasa o nula (Ecuación 2).



$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (2)$$

Donde: *NIR* es el espectro infrarrojo cercano y *R* es el espectro rojo.

El *SAVI* se interpreta de manera similar al *NDVI*, pero incorpora un factor de corrección “*L*” para minimizar las influencias del brillo del suelo. Este factor generalmente toma un valor de 0,5, que es la componente de brillo del suelo y permite el índice a diferentes tipos de cobertura vegetal (Ecuación 3).

$$SAVI = \frac{NIR-R}{(NIR+R+L)(L+1)} \quad (3)$$

Donde *L* es el factor de ajuste, *NIR* es el infrarrojo cercano y *R* es el espectro rojo.

El *NDMI* presenta valores en un rango de -1 a 1 y complementa al *NDVI* al estar principalmente relacionado con la humedad presente en los tejidos de las plantas. Valores más altos indican una mayor disponibilidad de agua en la vegetación, mientras que valores más bajos reflejan condiciones de estrés hídrico o una menor humedad en la cubierta vegetal (Ecuación 4).

$$NDMI = \frac{NIR-SWIR 1}{NIR+SWIR 1} \quad (4)$$

Donde *NIR* es el espectro infrarrojo cercano y *SWIR 1* es el infrarrojo lejano.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción general de la población

De la población encuestada, el 65 % correspondió al sexo masculino y el 35 %, al femenino, con una edad promedio de 50 años ($\pm 14,4$ de desviación estándar). La distribución por rangos de edad fue la siguiente: 5 % entre 18 y 30 años, 24 % entre 31 y 50 años, 62 % entre 51 y 70 años y 10 % más de 71 años. En términos de escolaridad, el 43 % de los encuestados contaba con estudios de primaria, el 26 %, de secundaria, el 13 %, de bachillerato, el 9 %, de licenciatura, y otro 9 % no contaba con estudios. El bajo nivel educativo registrado refleja la escasez de instituciones educativas en la región,



limitadas a preescolar y primaria, y es similar a lo reportado en otras zonas rurales de México (INEGI 2020).

En cuanto a las actividades económicas, el 52 % de la población se dedica a la agricultura, el 10 % a la ganadería, el 19 % a la silvicultura y otro 19 % a las labores del hogar. Aunque cada persona manifestó realizar una de las actividades anteriores como principal, muchos diversifican sus ocupaciones. Por ejemplo, debido a que la agricultura es de temporal, los agricultores suelen complementar sus ingresos con la cría de ganado, aunque en menor escala que los ganaderos, quienes a su vez también realizan actividades agrícolas. Esta diversificación refleja la capacidad de los habitantes en el área de estudio, que, al igual que en gran parte de las comunidades rurales de México, busca innovar y combinar diferentes actividades económicas para cubrir sus necesidades básicas (Román-Montes de Oca *et al.*, 2020). A pesar de estos esfuerzos de la comunidad, la cobertura de servicios básicos en las viviendas sigue siendo limitada, particularmente en los servicios de luz eléctrica, agua potable y drenaje.

Conocimientos sobre conservación

Los bosques de la cuenca alta del río Nazas han sido históricamente sobreexplotados, según registros documentales y testimonios locales. Como resultado, la población ha identificado distintos procesos de deterioro edáfico: el 48 % de los encuestados asocia la degradación del suelo con la pérdida de cobertura vegetal, el 42 %, con la erosión, y el 10 % desconoce el tema. Los encuestados atribuyen este fenómeno principalmente a actividades antropogénicas como la ganadería, la agricultura, la explotación forestal y la contaminación. Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por (Delgado *et al.*, 2024), quienes señalan que la pérdida de calidad y fertilidad del suelo se debe a múltiples factores, incluyendo la erosión, la contaminación, el agotamiento de nutrientes y la compactación.

Todos los encuestados reconocen la importancia del bosque, principalmente por los recursos que provee, como el agua y la madera, los cuales son los más valorados. Aunque reconocen la importancia de la conservación y restauración, sus nociones sobre estos conceptos se centran en acciones específicas para la recuperación de los suelos forestales. El 48 % de la población asocia la conservación y restauración del suelo con la



implementación de obras de retención, como acordonamientos y presas filtrantes; el 24 % la relaciona con evitar la sobreexplotación del bosque; y el 19 %, con la realización de plantaciones forestales (Figura 2). Además, todos coincidieron en que estas acciones generan beneficios clave, como la mejora del suelo, el incremento de la vegetación, la disponibilidad de agua limpia, el aumento de la cobertura vegetal, la creación de empleos y la recuperación de la fauna silvestre. Estos resultados reflejan un conocimiento generalizado sobre la relevancia de estas obras de conservación y restauración de suelos y su contribución al mejoramiento del ecosistema forestal (Chavarría-Aráuz *et al.*, 2020).

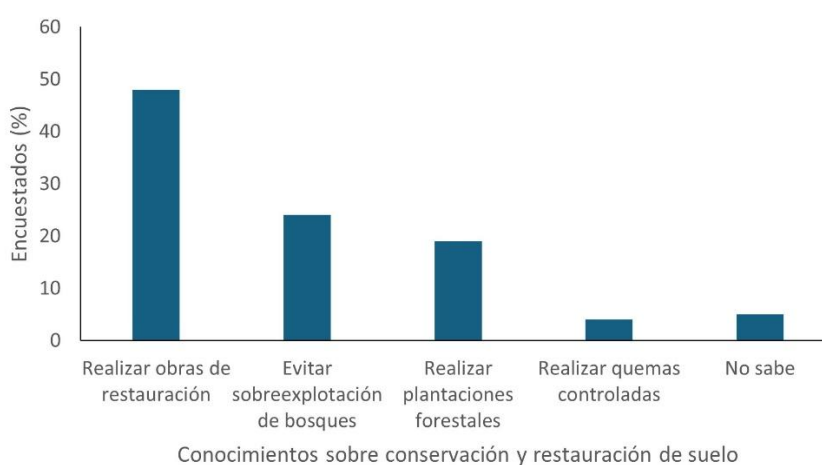


Figura 2.- Conocimientos de la población de Mi Patria es Primero sobre conservación y restauración del suelo

Percepción social

Para toda la población, los objetivos de las acciones de conservación y restauración en la cuenca son retener el suelo, mantener la humedad y la producción de agua, contribuir al aumento de la cubierta vegetal (arbórea, arbustiva y herbácea), así como mejorar el ambiente y la calidad de vida de la comunidad. Todos los encuestados han participado, en algún momento, en actividades de conservación y restauración; todos han realizado reforestaciones, pero únicamente el 52 % se ha dedicado de manera exclusiva a esta actividad, ya que el 33 % también ha participado en actividades de control de erosión laminar y el 14 %, en el control de erosión en cárcavas. Lo anterior no resulta



sorprendente, ya que en esta región, las obras de conservación y restauración suelen combinarse con reforestaciones (CONAFOR 2023).

En la implementación de cualquier proyecto de conservación y restauración de suelos se involucran diferentes actividades que comprenden las etapas de planeación, implementación, seguimiento y evaluación. El 95 % de la población manifestó que su participación se limita únicamente a la fase de implementación, mientras que el 5 % también se ha involucrado en la planeación y el seguimiento, especialmente aquellos que forman parte del comisariado ejidal. Esta situación coincide con lo reportado por Ortega-López y Soares de Moraes (2022), quienes encontraron que la población rural generalmente solo participa en la implementación de los proyectos (mano de obra) al analizar la percepción social sobre la participación en actividades de conservación de bosques en Michoacán, México. La participación activa de la población en todas las fases de los proyectos de conservación y restauración es crucial, ya que permite un mayor conocimiento de la realidad local, fomenta la gobernanza compartida entre actores de diferentes disciplinas, como el estado y la sociedad, y genera un sentido de pertenencia al proyecto, lo que favorece su continuidad.

Los cambios más notorios que la población ha observado tras la implementación de las obras de conservación y restauración incluyen el incremento del pasto (45 %) y arbustos (24 %), aunque también hay quienes reportaron una disminución de la cobertura de pastos (16 %) (Figura 3). Además, se tiene el conocimiento de que la obra de restauración o conservación más antigua tiene más de 30 años establecida.

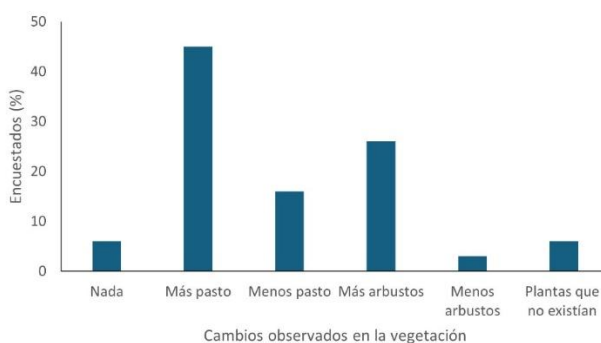


Figura 3.- Percepción de la población de Mi Patria es Primero sobre los cambios observables en la vegetación por efecto de las obras de conservación y restauración de suelo



El 63 % de los encuestados señaló que los resultados de las obras fueron los esperados, ya que se había anticipado un aumento en la cobertura vegetal, principalmente de pastos, lo que ha favorecido la retención del suelo. En contraste, el 37 % consideró que los resultados no fueron los esperados, pues esperaban un incremento en la superficie boscosa. Respecto a la percepción sobre el cumplimiento de los objetivos de las obras, el 58 % señaló que sí se han alcanzado, destacando que los beneficios son visibles, particularmente en la retención de suelo. No obstante, destacaron que es necesario dar seguimiento a los proyectos implementados. Por otro lado, el 42 % opinó que los objetivos no se han cumplido, ya que aún existen zonas con alta erosión laminar e incluso en cárcavas. Respecto al monitoreo de las obras, el 65 % indicó que no se realiza ningún seguimiento, mientras que el 35 % aseguró que sí se lleva a cabo y que la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) participa activamente en este proceso (Figura 4).

Todos los encuestados coincidieron en que las zonas donde se ha realizado cabecero de cárcavas con piedra, zanjas bordo, presas filtrantes y reforestaciones son las áreas con mayor cambio, ya que se ha retenido mayor cantidad de suelo. Sin embargo, la percepción social positiva respecto a la recuperación ambiental podría ser respaldada mediante mediciones del escurrimiento y sedimentos a la salida de la subcuenca, que permitan verificar la disminución en el arrastre de sedimentos después de la construcción de las obras de conservación de suelo (Chanca-Flores *et al.*, 2020).

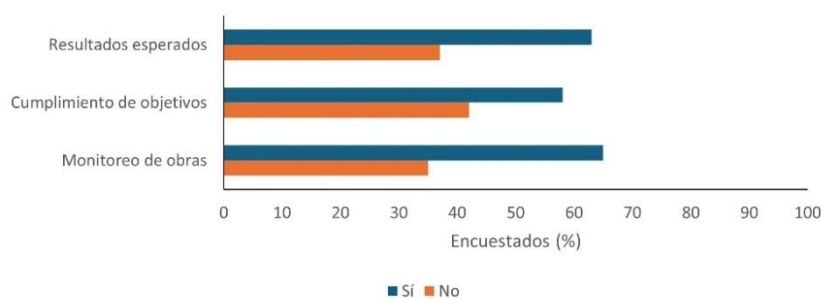


Figura 4.- Percepción de la población de Mi Patria es Primero sobre los resultados esperados de las obras de conservación y restauración de suelos



Percepción económica

Toda la población coincidió en que los programas de conservación y reforestación contribuyen a reducir la migración laboral, ya que incentivan a los habitantes a permanecer en la comunidad e incluso atraen a nuevos trabajadores, lo que ha mejorado considerablemente la economía local. No obstante, este beneficio es solo temporal, lo que impide que la población migre durante el periodo de ejecución de los programas, pero lo hace una vez que estos concluyen. Como consecuencia, la región ha observado una disminución de la población en los últimos años (INEGI 2020).

Para el 81 % de los encuestados, la forma y el estilo de vida han cambiado, principalmente porque ahora realizan nuevas actividades. Muchos se trasladan al campo a trabajar en la implementación de diversas obras, y algunos señalaron que estos cambios han mejorado su calidad de vida. En particular, el aumento en sus ingresos les ha permitido mejorar su alimentación. Sin embargo, también destacaron que los empleos generados son temporales, lo que implica que las mejoras en su estilo de vida sean igualmente transitorias.

Las acciones de restauración forestal no solo generan empleos y fortalecen la economía local, sino que también favorecen la recuperación del ecosistema y sus servicios ambientales. Además, contribuyen a un cambio de perspectiva sobre la importancia de la cobertura forestal y su impacto en el bienestar social (CONAFOR 2023). Para el 90 % de la población, los empleos derivados de estas acciones han incrementado sus ingresos, aunque de manera temporal. Sin embargo, señalaron que la promoción de la cobertura de pastos ha beneficiado el desarrollo de la ganadería, mientras que el aumento de la cobertura arbórea podría incrementar la productividad forestal en el futuro.

De manera general, toda la población espera que la continuidad de estas obras genere nuevos empleos y una mayor derrama económica en la región. En particular, los ganaderos consideran que el aumento de la cobertura de pastos contribuiría a mejorar la alimentación del ganado. Por otro lado, los ejidatarios dedicados a la silvicultura esperan un aumento en la cobertura arbórea, objetivo que, según el 63 % de los encuestados, ya se ha logrado en cierta medida. No obstante, aunque reconocen la generación de empleo,



enfatan que esta ha sido solo temporal y que esperarían un programa de seguimiento a las obras en el que fueran involucrados en todas las etapas (Figura 5).

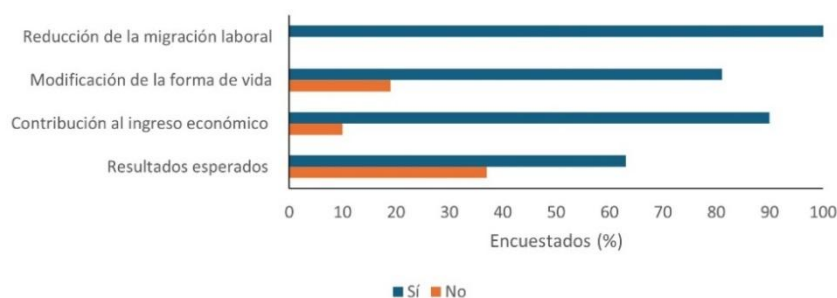


Figura 5.- Percepción de la población de Mi Patria es Primero sobre el impacto económico de las obras de conservación y restauración en la población.

Análisis ambiental

La clasificación de usos de suelo y vegetación del área de estudio se presenta en la Figura 6; cada color corresponde a un uso de suelo y vegetación.

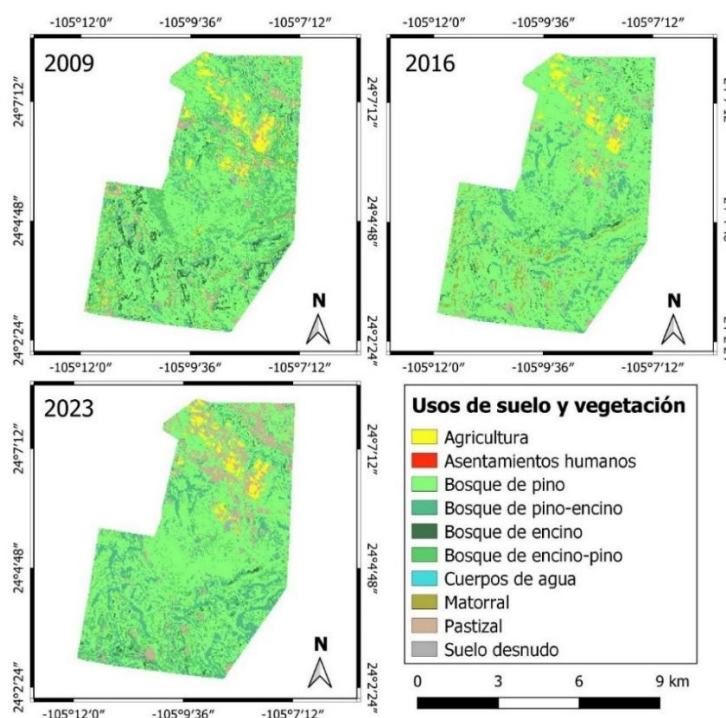


Figura 6.- Usos de suelo y vegetación en Mi Patria es Primero para los años 2009, 2016 y 2023



La precisión general de la clasificación supervisada en cada una de las imágenes (2009, 2016 y 2023) fue superior a 0,8064, un valor comparable con los reportados en otras clasificaciones. Por ejemplo, Ma *et al.* (2017) obtuvieron valores cercanos a 0,8 al analizar la composición de la vegetación tras el establecimiento de un área natural protegida en el noroeste de México. Por otro lado, el índice Kappa fue superior a 0,7460 (Tabla 2), lo que indica una clasificación aceptable, ya que los valores entre 0,4 y 0,8 se consideran moderados. En consecuencia, los mapas generados reflejan con precisión la condición real de la superficie analizada (Dennis-Pacheco *et al.*, 2023).

Tabla 2.- Valores de precisión en la clasificación de la superficie en Mi Patria es Primero

Año	Índice de precisión general	Índice Kappa
2009	0,8064	0,7460
2016	0,8441	0,7981
2023	0,8447	0,7968

En conjunto, los bosques (bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque de pino y bosque de pino-encino) representaron la mayor superficie en los tres años analizados. En 2009 y 2016 abarcaron más del 88 % del total, mientras que en 2023 su cobertura se redujo al 86 %. De manera individual, el bosque de pino fue el que presentó la mayor cobertura, con un 58% del área de estudio en 2009, aumentando a 74% en 2016 y disminuyendo a 60% en 2023. El bosque de pino-encino también ocupó una superficie significativa, pasando de 12 % en 2009 a 11 % en 2016 y a 18 % en 2023. En contraste, el bosque de encino mostró una reducción progresiva, pasando de 5 % en 2009 a 1 % en 2023 (Figura 7). Cabe destacar que en el estado de Durango las principales especies arbóreas aprovechadas pertenecen al género *Pinus*, mientras que el encino es menos aprovechado. Lo anterior es relevante, ya que, a pesar de la importancia económica y ecológica de los bosques de encino (Hernández-Ramos *et al.*, 2022), son los que han presentado mayor degradación, lo cual puede atribuirse a que el manejo forestal y las reforestaciones han favorecido principalmente a las especies de pino. Por otro lado, las superficies no boscosas mostraron variaciones en su extensión. El pastizal se mantuvo en 4 % en 2009 y 2016, pero aumentó a 9 % en 2023. La superficie de agricultura



disminuyó, pasando de 4 % en 2009 a 3 % en 2016 y 2023. En 2009, el suelo desnudo representó el 2 %, pero su superficie se redujo a menos del 1 % en 2016 y 2023 (Figura 7).

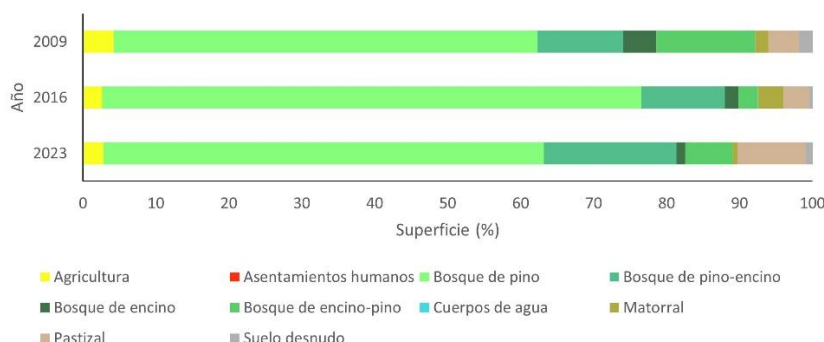


Figura 7.- Superficie (%) de usos de suelo y vegetación de Mi Patria es Primero para los años 2009, 2016 y 2023

Respecto a la tasa de cambio de uso de suelo y vegetación, durante el periodo 2009-2016, el bosque de pino y matorral registraron valores positivos, con tasas anuales de cambio de 4 % y 10 %, respectivamente. En contraste, las demás clases de uso de suelo y vegetación presentaron tasas negativas en el mismo periodo. Por ejemplo, la agricultura presentó una tasa de cambio anual de -7 %, el bosque de encino -12 %, el bosque de encino-pino -21 % y el suelo desnudo -18 % (Figura 8A).

Durante el periodo 2016-2023, el bosque de pino registró una tasa de cambio anual negativa de -3 %, al igual que el matorral, cuya tasa de cambio fue de -21 %. El bosque de encino mantuvo valores negativos en su tasa de cambio con -6 %. No obstante, algunas clases que previamente presentaban tasas de cambio negativas pasaron a valores positivos, como el bosque de pino-encino con 7 %, bosque de encino-pino con 14 % y el pastizal con 15 % (Figura 8B).

Al analizar el periodo completo (2009-2023), se observó que seis de las clases presentaron tasas anuales negativas. La agricultura y el suelo desnudo disminuyeron 3 % y 5 %, respectivamente. De manera similar, algunas áreas boscosas también mostraron reducción, como el bosque de encino (-9 %) y el bosque de encino-pino (-5 %). Por otro lado, el bosque de pino y el bosque de pino-encino presentaron tasas de cambio positivas de 1 % y 3 %, respectivamente (Figura 8C). Estos resultados sugieren que la cobertura vegetal se ha estado recuperando lentamente. Algunos autores señalan que la



recuperación del suelo puede ser un proceso lento en áreas restauradas; sin embargo, la acumulación de materia orgánica favorece la regeneración vegetal de manera gradual (Bonfil *et al.*, 2022).

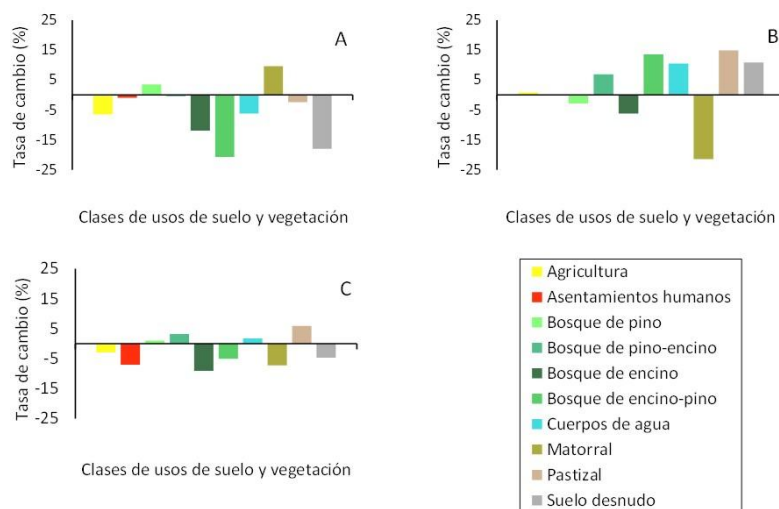


Figura 8.- Tasa de cambio anual de clases de usos de suelo y vegetación de Mi Patria es Primero para los periodos 2009-2016 (A), 2016-2023 (B) y 2009-2023 (C)

Los valores promedio del Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y del índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) fueron positivos, aunque inferiores a 0,4 en los tres años analizados (Figura 9). Esto sugiere la presencia de áreas de vegetación, pero con baja densidad, la cual, de acuerdo con (Ruan *et al.*, 2022), puede estar asociada a una actividad fotosintética baja o a condiciones de perturbación. Por otro lado, el índice de diferencia normalizada de humedad (NDMI) registró valores promedio negativos, con una mayor frecuencia en el rango de -0,2 a -0,1 (Figura 9), lo que indica un alto nivel de estrés hídrico y una cobertura del dosel de media a baja (Bora y Bora 2023). Por lo tanto, aunque algunas clases de suelo y vegetación mostraron una recuperación, el estrés hídrico sigue siendo un factor limitante. Si bien el análisis se realizó con imágenes de periodo de estiaje, los bajos valores de los índices de vegetación pueden atribuirse, en parte, a la incidencia de sequías de moderadas a severas registradas en la región en los últimos años (CONAGUA 2024). Además, la sobrevivencia de las plantas utilizadas en las acciones de conservación y restauración de suelos puede verse afectada por estas condiciones climáticas adversas, así como por la mala calidad de las plantas.





Figura 9.- Valores de los índices NDVI, SAVI y NDMI de Mi Patria es Primero para los años 2009, 2016 y 2023

CONCLUSIONES

Los habitantes del área de estudio reconocen la importancia de las obras de conservación y restauración en los ecosistemas forestales. Aunque la participación de la población en estos proyectos ha sido activa, se ha restringido principalmente a las actividades de implementación, sin involucrarse en las etapas de planeación, seguimiento y evaluación. Esta limitación reduce el impacto social de las obras, ya que las personas participan únicamente como mano de obra, dificultando el fortalecimiento del capital social. Desde la perspectiva de la población, las obras han favorecido el incremento de la cobertura de pastos y se percibe que se han cumplido sus objetivos. Además, su implementación ha generado empleos y promovidos ingresos económicos, lo que ha contribuido temporalmente a reducir la migración laboral. Respecto al análisis multitemporal, los bosques de pino fueron los de mayor extensión en los tres años evaluados, con una tendencia al aumento reflejada en tasas de cambio anual positivas. Este aumento puede atribuirse a las obras de conservación, restauración y reforestación que se realizan principalmente con especies de pino. Por otro lado, los bosques de encino han sido los más degradados, ya que reciben menor atención en las reforestaciones. La reducción de la superficie de suelo desnudo indica una recuperación de la cobertura vegetal; sin embargo, los valores promedio de los índices espectrales evidencian la persistencia de



estrés hídrico en la vegetación, lo que podría limitar el éxito a largo plazo de las obras de conservación y restauración de suelos.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por la beca otorgada al primer autor para la realización de estudios de posdoctorado en el Instituto Tecnológico de El Salto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BONFIL, C., CONTRERAS-RODRÍGUEZ, V. y BARRALES-ALCALÁ, B.A., 2022. El papel de las plantaciones y la regeneración natural en la recuperación inicial de la cobertura vegetal en una cantera en Morelos, México. *Acta Botanica Mexicana* [en línea], no. 129, [consulta: 20 febrero 2025]. ISSN 2448-7589. DOI 10.21829/abm129.2022.1965. Disponible en: <https://abm.ojs.inacol.mx/index.php/abm/article/view/1965>.
- BORA, R. y BORA, A.K., 2023. NDVI and NDMI indices based land use and land cover change analysis of Charaideu District, Assam, India. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research* [en línea], vol. 11, [consulta: 20 febrero 2025]. ISSN 0719-3726. DOI 10.7770/safer-V11N1-art2726. Disponible en: <https://safer.uct.cl/index.php/SAFER/article/view/371>.
- BREIMAN, L., 2001. Random forests. *Machine Learning* [en línea], vol. 45, no. 1, [consulta: 20 octubre 2024]. ISSN 0885-6125. DOI 10.1023/A:1010933404324. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1023/A:1010933404324>.
- CABRAL-ALEMÁN, C., LÓPEZ-SANTOS, A. y ZÚÑIGA-VÁSQUEZ, J.M., 2021. Mapping risk zones of potential erosion in the upper Nazas River basin, Mexico through spatial autocorrelation techniques. *Environ Earth Sci* [en línea], vol. 80, no. 18, [consulta: 2 enero 2025]. DOI 10.1007/s12665-021-09956-1. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-021-09956-1>.



- CASTELÁN-VEGA, R.D.C., TAMARÍZ-FLORES, J.V., RAMÍREZ-GARCÍA, A.L., HANDAL-SILVA, A. y GARCÍA-SUASTEGUI, W.A., 2019. Susceptibilidad ambiental a la desertificación en la microcuenca del río Azumiatla, Puebla, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios [en línea], vol. 6, no. 16, [consulta: 19 febrero 2025]. ISSN 2007-901X. DOI 10.19136/era.a6n16.1886. Disponible en: <https://era.ujat.mx/index.php/rera/article/view/1886>.
- CHANCA-FLORES, A., ÁVILA-MENDOZA, J. y ALIAGA-CAYNICELA, M.Y., 2020. Percepción cultural de los pobladores sobre el Programa Social Juntos en el Valle del Mantaro. Socialium [en línea], vol. 4, no. 1, [consulta: 19 febrero 2025]. ISSN 2706-6053. DOI 10.31876/sl.v4i1.49. Disponible en: <http://www.revistasocialium.com/index.php/es/article/view/49>.
- CHAVARRÍA-ARÁUZ, F.J., CHAVARRÍA-LÓPEZ, A.K. y GONZÁLEZ-OBREGÓN, J.V., 2020. Valoración participativa de servicios ecosistémicos prestados por el humedal Ramsar de Moyúa, Ciudad Darío. La Calera [en línea], vol. 20, no. 34, [consulta: 20 febrero 2025]. ISSN 1998-8850. DOI 10.5377/calera.v20i34.9735. Disponible en: <https://www.camjol.info/index.php/CALERA/article/view/9735>.
- COHEN, J., 1960. A coefficient of agreement of nominal scales. Educational and Psychological Measurement [en línea], vol. 20, no. 1, [consulta: 17 enero 2025]. ISSN 1552-3888. DOI 10.1177/001316446002000104. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>.
- CONAFOR, 2023. Restauran 8 mil 620 hectáreas de la Cuenca Alta del Río Nazas en Durango. [en línea]. S.I.: COMISIÓN NACIONAL FORESTAL. [consulta: 15 diciembre 2024]. Disponible en: <https://www.gob.mx/conafor/prensa/restauran-8-mil-620-hectareas-de-la-cuenca-alta-del-rio-nazas-en-durango>.
- CONAGUA, 2024. Monitor de Sequía. [en línea]. S.I.: Comisión Nacional del Agua. [consulta: 14 diciembre 2024]. Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>.



- DELGADO, I.R., IGLESIAS, H.I.P., BATISTA, R.M.G. y ARENCIBIA, Y.S.V., 2024. La degradación del suelo y su impacto en la ciencia, tecnología, sociedad y ambiente. Universidad y Sociedad [en línea], vol. 16, no. 3, [consulta: 16 noviembre 2024]. ISSN 2218-3620. Disponible en: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/4517>.
- DENNIS-PACHECO, S., ROMO-LEÓN, J.R., CASTELLANOS-VILLEGAS, A.E., PEÑALBA-GARMENDIA, M.C. y CORNEJO-DENMAN, L.A., 2023. Composición de la vegetación tras el establecimiento de un área natural protegida en el noroeste de México. Revista Mexicana de Biodiversidad [en línea], vol. 94, [consulta: 20 febrero 2025]. ISSN 2007-8706. DOI 10.22201/ib.20078706e.2023.94.5182. Disponible en: <https://revista.ib.unam.mx/index.php/bio/article/view/5182>.
- GÁNDARA, G., MÁTTAR, J. y OLAVARRIETA, C., 2021. Futuros México hacia 2050 [en línea]. México, D. F.: Penguin Random House. [consulta: 12 diciembre 2024]. ISBN 978-607-38-0548-3. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/369089059_Futuros_Mexico_hacia_2050.
- GEE, 2024. Plataforma Google Earth Engine [en línea]. 2024. S.l.: Google Earth Engine. [consulta: 10 septiembre 2024]. Disponible en: <https://earthengine.google.com/platform>.
- HERNÁNDEZ-RAMOS, J., ÁNGELES-PÉREZ, G., PÉREZ-MIRANDA, R., REYES-HERNÁNDEZ, V.J. y RAZO-ZARATE, R., 2022. Morfometría de copa para Quercus crassifolia Humb. & Bonpl. y Quercus rugosa Née en Hidalgo, México. Ciência Florestal [en línea], vol. 32, no. 3, [consulta: 19 febrero 2025]. ISSN 1980-5098. DOI 10.5902/1980509865276. Disponible en: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/65276>.
- INEGI, 2009. Cartas temáticas del estado de Durango. [en línea]. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. [consulta: 15 febrero 2025]. Disponible en: <https://en.www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463870623>.



- INEGI, 2020. Censo de Población y Vivienda 2020. [en línea]. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. [consulta: 10 febrero 2025]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>.
- MA, L., LI, M., MA, X., CHENG, L., DU, P. y LIU, Y., 2017. A review of supervised object-based land-cover image classification. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing [en línea], vol. 130, [consulta: 20 febrero 2025]. ISSN 0924-2716. DOI 10.1016/j.isprsjprs.2017.06.001. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092427161630661X>.
- MEAZA-RODRÍGUEZ, G. y LAGUNA-LUMBRERAS, E., 2022. El bosque integral [en línea]. Jaca, España: Jolube Consultor Botánico y Editor. [consulta: 1 diciembre 2024]. ISBN 978-84-124463-1-9. Disponible en: <https://www.jolube.net/shop/etnobotanica/el-bosque-integral/>.
- MONTERO-TORRES, J., 2023. Importancia de las cuencas Cachi Mayu y Cajamarca en Sucre: una revisión basada en ecorregiones, políticas y servicios ambientales. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales [en línea], vol. 10, no. 3, [consulta: 20 febrero 2025]. ISSN 2518-6868. DOI 10.53287/mgso3359ju99y. Disponible en: <https://riiarn.umsa.bo/index.php/RIIARn/article/view/305>.
- ORTEGA-LÓPEZ, S. y SOARES DE MORAES, D., 2022. El papel de las percepciones sociales en el impacto de programas de conservación. Siembra [en línea], vol. 9, no. 1, [consulta: 20 febrero 2025]. ISSN 2477-8850. DOI 10.29166/siembra.v9i1.3072. Disponible en: <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/3072>.
- PALACIO-PRIETO, J.L., SÁNCHEZ-SALAZAR, M.T., CASADO-IZQUIERDO, J.M., PROPIN-FREJOMIL, E., DELGADO-CAMPOS, J., VELÁZQUEZ-MONTES, A., CHIAS-BECERRIL, L., ORTIZ-ÁLVAREZ, M.I., GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, J., NEGRETE-FERNÁNDEZ, G., GABRIEL-MORALES, J. y MÁRQUEZ-HUITZIL, R., 2004. Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial [en línea]. 1. ed. México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México. [consulta: 3 enero 2025]. ISBN 978-970-32-1885-1. Disponible en:



https://unidadesdepaisaje.unam.mx/sites/default/files/2022-06/Palacio%20et%20al%2C%202004_0.pdf.

PELÁEZ-MORA, R., AGUIRRE-CALDERÓN, O.A., ALANÍS-RODRÍGUEZ, E., TREVIÑO-GARZA, E.J., GONZÁLEZ-TAGLE, M.A. y VILLANUEVA-DÍAZ, J., 2022. Estructura forestal y análisis de suelos en un programa de pago por servicios ambientales en la cuenca del río Nazas. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes [en línea], vol. 30, no. 87, [consulta: 15 diciembre 2024]. ISSN 2521-9758. DOI 10.33064/icycuaa2022873741. Disponible en: <https://revistas.uaa.mx/index.php/investycien/article/view/3741>.

REVENGA, C. y NILSSON, C., 2000. Pilot analysis of global ecosystems: freshwater systems [en línea]. Washington, D. C.: World Resources Institute. [consulta: 10 diciembre 2024]. PAGE: Pilot analysis of global ecosystems, ISBN 978-1-56973-460-5. Disponible en: <https://www.wri.org/research/pilot-analysis-global-ecosystems-freshwater-systems>.

ROMÁN-MONTES DE OCA, E., LICEA-RESENDIZ, J.E. y ROMERO-TORRES, F., 2020. Diversificación de ingresos de los productores como estrategias de desarrollo rural. Entramado [en línea], vol. 16, no. 2, [consulta: 17 noviembre 2024]. ISSN 2539-0279, 1900-3803. DOI 10.18041/1900-3803/entramado.2.6752. Disponible en: <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/entramado/article/view/6752>.

RUAN, L., YAN, M., ZHANG, L., FAN, X. y YANG, H., 2022. Spatial-temporal NDVI pattern of global mangroves: A growing trend during 2000–2018. Science of The Total Environment [en línea], vol. 20, no. 844, [consulta: 14 octubre 2024]. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2022.157075. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722041729?via%3Dihub>.

USGS, 2024. EarthExplorer. United States Geological Survey [en línea]. [consulta: 18 agosto 2024]. Disponible en: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.



Conflictos de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial
4.0 Internacional.

